DIE

GASE DES BLUTES.

INAUGURALDISSERTATION

DER HOHEN

MEDICINISCHEN FAKULTÄT WÜRZBURG

VORGELEGT

UND MIT DEREN ERLAUBNISS NACHTRÄGLICH DEM DRUCKE ÜBERGEBEN

VON

LOTHAR MEYER

AUS VAREL A. D. JAHDE.

GÖTTINGEN, 1857.

DRUCK DER DIETERICHSCHEN UNIV.-BUCHDRUCKEREI.

(W. FR. KAESTNER.)

HERRN

DR. C. LUDWIG

PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE IN WIEN

GEWIDMET.

Die bisherigen Untersuchungen über die Gase des Blutes haben festgestellt, dass im Blute Sauerstoff, Stickstoff und Kohlensäure enthalten sind (Davy, Enschut, Magnus) und durch physikalische Mittel (Druckverminderung, Temperaturerhöhung etc.) aus demselben erhalten werden können, jedoch mit Ausnahme eines Theiles der Kohlensäure, der erst auf Zusatz einer stärkern Säure durch diese Mittel dem Blute entzogen wird, also chemisch gebunden in demselben vorkommt (Tiedemann, Gmelin, Marchand). Ueber die quantitativen Verhältnisse dieser Gase sind fast nur relative Angaben bekannt, da es bisher noch an sicheren und bequemen Methoden fehlte, dieselben aus dem Blute vollständig zu gewinnen. Wir haben indess sehr schätzenswerthe Angaben, namentlich von Magnus, über die Quantitäten, die defibrinirtes Blut in Berührung mit den einzelnen Gasen aufzunehmen vermag. Magnus hat gezeigt, dass aus einer Atmosphäre von reiner Kohlensäure faserstofffreies Blut weit mehr Gas aufnimmt, als das im Körper circulirende enthält, während er durch Schütteln mit atmosphärischer Luft nahezu die gleiche Quantität Sauerstoff in von diesen Gasen befreites Blut übergehen sah, die er aus arteriellem Blute unmittelbar durch successive Verminderung des partiären Druckes gewann.

Während durch diese Versuche von Magnus die im arteriellen Blute wirklich vorhandenen Quantitäten Sauerstoff und Stickstoff mit ziemlicher Sicherheit bekannt sind, hat Becher eine indirecte Methode zur Messung der Kohlensäure angegeben, indem er den CO_2gehalt einer Luft bestimmte, die sich möglichst mit dem Blute in den Lungen ins Gleichgewicht gesetzt. Diese Methode, die über die relativen Mengen der Kohlensäure in verschiedenen Zuständen des Organismus schon sehr schöne Aufschlüsse

ergeben, wird auch die absoluten Quantitäten zu berechnen erlauben, sobald die Abhängigkeit der Kohlensäureaufnahme soweit erforscht ist, dass sich der etwaige Absorptionscoëfficient bestimmen lässt.

Diese Abhängigkeit der Gase des Blutes vom Drucke ist aber noch so gut wie gar nicht untersucht. Wir wissen nur, dass bei sehr starker Verminderung des partiaren Druckes dieselben austreten; ob sie eigentlich absorbirt im Blute enthalten sind, d. h. dem Henry-Dalton schen Gesetze gemäss die aufgenommenen Quantitäten ceteris paribus dem Drucke proportional sich ändern, ist eine noch gänzlich offene Frage.

Die Beantwortung dieser Frage ward um so dringender, seit für die Gültigkeit des Absorptionsgesetzes die experimentellen Beweise geliefert wurden. Es war daher der Zweck vorliegender Untersuchung, diese Frage ihrer Beantwortung entgegenzuführen. Zunächst aber war es nöthig eine leicht anwendbare und sichere Methode zur quantitativen Bestimmung der im Blute enthaltenen Gase zu gewinnen.

Herr Professor Bunsen erlaubte mir diese Arbeit in seinem Laboratorium auszuführen und zeigte den Beginn derselben bereits am Schlusse seiner Arbeit „über das Gesetz der Gasabsorption" an, indem er sich vorbehielt, auf die Theorie der Meeresatmosphäre und die Vorgänge bei der Absorption der Luft im Blute, welche sich aus dem Absorptionsgesetze erklären lassen, zurückzukommen.

Trotz dieses Vorbehaltes hat Herr Fernet in Paris der Academie in der Sitzung vom 31. December 1855 angezeigt, dass er eine Untersuchung desselben Gegenstandes unternommen, indem er Lösungen der Hauptbestandtheile des Blutes, namentlich der Salze, als absorbirende Flüssigkeit verwandt. Diese Arbeit, obwohl sie dasselbe Ziel im Auge hat, collidirt jedoch nur mit einem Theile der meinigen, den ich deshalb glaubte weniger ausdehnen zu sollen, als ich sonst für nöthig erachtet haben würde. Es liegt auf diesem Gebiete ein so weites Feld der Untersuchung offen, dass es unnöthig sein würde, die Kräfte zweier Arbeiter gleichzeitig auf einen und denselben Fleck zu richten. Aus diesem Grunde habe ich namentlich unterlassen, die Concentration der zu meinen Absorptionsversuchen mit CO_2 verwandten Sodalösung zu variiren, sowie die Absorptionserscheinungen von $2NaO$, HO, PO_5 für CO_2 zu

studiren. Es ist dadurch in der Beantwortung der Frage, in welcher Verbindung die Kohlensäure im Blute enthalten sei, eine Lüke entstanden, die indess die bald zu erwartende Publication der von Herrn Fernet erhaltenen Zahlenresultate zuversichtlich vollständig ausfüllen wird.

Meine Arbeit zerfällt in zwei Abtheilungen; die erste begreift die Gewinnung und quantitative Bestimmung der im Blute enthaltenen Gase; die zweite betrachtet die Absorptionserscheinungen für das Blut und seine Gase und untersucht namentlich die Abhängigkeit der Gasaufnahme vom Drucke. Die angewandten Methoden sind grösstentheils die aus den Untersuchungen von Prof. Bunsen und seinen Schülern bekannten und anerkannten. Mir hat nur obgelegen, durch kleine Modificationen dieselben den Eigenthümlichkeiten des untersuchten Gegenstandes anzupassen. Nur für die Absorptionsversuche mit Blut habe ich einen neuen Apparat construiren müssen. Um über dessen Zuverlässigkeit ein Urtheil zu gewähren, werde ich im Folgenden einige Versuchsreihen mittheilen, die ich zu seiner Prüfung angestellt habe.

1. Quantitative Bestimmung der Gase des Blutes.

Um die im Blute enthaltenen Gase vollständig zu gewinnen, habe ich die bekannte, von Bunsen angegebene Methode der Auskochung im luftleeren Raume angewandt, deren ausführliche Beschreibung Baumert in seiner Abhandlung über die Respiration des Schlammgeizgers [1]) gegeben hat. Die Anwendung derselben auf das Blut erforderte jedoch einige Abänderungen, die mich nöthigen, hier auf die Beschreibung zurückzukommen; und zwar glaube ich, das Verfahren nochmals ausführlich mittheilen zu sollen, da es in seiner gegenwärtigen Gestalt eine allgemeine Anwendung auf manche physiologische Fragen zu verdienen scheint. Das grösste Hinderniss für die genaue quantitative Bestimmung der Blutgase war bisher das Gerinnen des Blutes und das starke Aufschäumen beim Austreten der Gase. Beide beseitigt man leicht dadurch, dass man das Blut mit seinem mindestens zehnfachen Volumen Wasser mischt. Diese Mischung schäumt nicht mehr so

1) Annal. d. Chemie u. Pharm. Bd. 88. p. 2.

stark, dass sie die Arbeit hinderte, und lässt sich ziemlich stark erwärmen ohne zu gerinnen. Ich wende mich zunächst zur nähern Mittheilung der angewandten Methode.

Der angewandte Apparat ist in Fig. 1. dargestellt. Er besteht aus drei gläsernen Theilen, die mittelst Kautschukröhren luftdicht mit einander verbunden werden können. *A* ist eine etwa dreiviertel bis ein Liter fassender Kolben mit möglichst gleichmässig weitem, etwa 250 Mm. langem Halse. Letzterer trägt eine Millimetertheilung; durch eine exacte Calibrirung ist der zwischen je zwei Theilstrichen derselben liegende Raum bestimmt. Diese Bestimmung geschieht am besten, indem man den Kolben gerade bis zum Nullpunkt der Theilung mit Wasser, das die Temperatur der Umgebung angenommen, füllt, und alsdann, wie bei der Calibrirung der Eudiometer, gemessene Volumina Quecksilber eingiesst, und das dadurch hervorgebrachte Steigen des Wasserspiegels notirt. Da der Kolbenhals immer etwas konisch sein wird, so darf das Quecksilbermaass nur den Raum weniger Theilstriche umfassen; auch hat man darauf zu sehen, dass die Temperatur des Quecksilbers der des Wassers gleich ist. Durch eine einfache Wägung kann man die durch die Calibrirung erhaltenen Volumina auf absolutes Maass, z. B. Cubiccentimeter, zurückführen. Endlich muss noch der Inhalt des ganzen Kolbens bis zum Rande bekannt sein. Auf denselben lässt sich das Stück *B*, dessen cylindrischer Theil denselben äussern Durchmesser wie der obere Theil des Kolbenhalses hat, während der der Kugel etwa 45—50 Mm. beträgt, mittelst eines dickwandigen Kautschukrohres luftdicht befestigen. Das obere Ende dieses Stückes ist zu einer ziemlich engen, dickwandigen Röhre ansgezogen, die wiederum mittelst eines Kautschukrohres mit dem gleich dicken Ende der Röhre *C* in luftdichte Verbindung gesetzt wird. Diese etwa 25 Mm. weite Röhre ist graduirt und calibrirt; sie dient zur Aufnahme und Messung der bestimmenden Gase. Um diese zur Analyse bequem aus derselben in das Eudiometer überfüllen zu können, ist ihre Länge der Quecksilberwanne angepasst, und das freie Ende seitlich zu einer etwa 5 Mm. weiten kurzen Röhre ausgezogen. Auch dieses Ende wird mit einem passenden, wie alle übrigen, möglichst dickwandigen Kautschuckschlauche versehen. Da die käuflichen Röhren aus vulcanisirtem Kautschuk häufig nicht ganz dicht sind, ist es nöthig, sie, nachdem durch Auskochen mit Sodalösung

der anhaftende Schwefel entfernt ist, heiss mit Fett zu imprägniren, wodurch sie vollständige Dichtheit bei grosser Geschmeidigkeit erlangen.

Um die durch die Kautschukverbindungen hergestellte Communication der drei verschiedenen Stücke des Apparates beliebig unterbrechen zu können, habe ich die von Baumert beschriebenen eingelegten massiven Glascylinder nicht wohl anwenden können, da diese die Communication so weit erschweren, dass die Flüssigkeit sich beim Auskochen zu sehr erwärmt und Coagula dem Gase den Weg manchmal ganz versperren. Ich habe mich daher überall einer Art eiserner Klemmen oder Quetscher bedient deren Einrichtung aus Fig. 2 erhellt. Das Stäbchen *a* trägt an seinen Enden zwei in Charnieren gehende Schräubchen. Diese sind der Länge nach mit einem zur Aufnahme des Stäbchens *b* bestimmten Schlitze versehen. An dem Einen seiner abgeplatteten Enden trägt *b* ein Knöpfchen, das das Ausgleiten aus diesem Schlitze hindert, während das andere Ende aus der Schraube zurückgezogen werden kann. Auf den Schrauben laufen zwei Muttern, durch deren Anziehen man die Stäbchen beliebig einander nähern kann. Fig. 2 *A*. zeigt die Vorrichtung geöffnet, *B* und *C* geschlossen.

Das Verfahren selbst, um die im kreisenden Blute enthaltenen Gase zu gewinnen ist nun Folgendes. Der Kolben *A* wird mit noch siedend heissem destillirtem Wasser, das man etwa eine Stunde lang zur Austreibung aller absorbirten Luft in lebhaftem Kochen erhalten, vollständig angefüllt, hermetisch verschlossen und, mit der Mündung unter gleichfalls ausgekochtes Wasser gebracht, bis zum Gebrauche aufbewahrt. Den Verschluss erreicht man zweckmässig dadurch, dass man den zur spätern Verbindung mit *B* dienenden Schlauch an den Kolbenhals steckt, mit einer seidenen Schnur festbindet und sein Lumen mittelst eines passenden Glasstöpsels verschliesst.

Sobald nun in die Arterie oder Vene, aus der man das Blut zu nehmen beabsichtigt, eine mit einem Hahne und einem biegsamen Schlauche versehene Canüle eingeführt, und aus dem Schlauche durch einige Tropfen Blut alle Luft verdrängt ist, öffnet man den Verschluss des Kolbens, zieht, während derselbe senkrecht ruhig steht, mit einem Heber das Wasser aus dem grössten Theile des Halses, notirt seinen Stand, führt den an der Canüle befestigten

Schlauch unter die Oberfläche des Wassers und lässt, indem man den Hahn öffnet, die nöthige Quantität Blut (etwa 50 CC), einfliessen, die auf diese Weise gar nicht mit der Atmosphäre in Berührung kommt. Nachdem abermals der Stand des Wassers im Kolbenhalse abgelesen, füllt man rasch mit bereit gehaltenem luftfreien Wasser den Kolben vollständig an und verschliesst ihn sofort wieder mittelst einer der beschriebenen Klemmen. Diese ganze Operation lässt sich so geschwind ausführen, dass, wenn man sich hütet, die Oberfläche des Wassers im Kolbenhalse viel zu bewegen, an derselben nur ein Minimum atmosphärischer Luft absorbirt werden kann. Der Unterschied der beiden Ablesungen ergiebt die eingeflossene Menge Blut.

Die nächste Aufgabe ist nun, den zur Aufnahme der Gase bestimmten Theil des Apparates luftleer zu machen. Es geschieht dies ganz auf die von Baumert beschriebene Art. Nachdem die Stücke *B* und *C* in der oben beschriebenen Weise verbunden, die Verbindung so wie der am freien Ende von *C* befestigte Schlauch zur Sicherheit mit seidenen Schnüren oder feinem Eisendrath (sogenanntem Blumendrath) in der aus der Figur ersichtlichen Weise befestigt, wird der cylindrische Theil des Stückes *B* in das freie Ende des am Kolben *A* befindlichen Schlauches bis an die verschliessende Klemme eingeschoben und befestigt. Die Kugel *B* ist reichlich zur Hälfte mit ausgekochtem destillirtem Wasser gefüllt. Dieselbe wird vorsichtig erwärmt und 7 bis 10 Minuten im lebhaften Kochen erhalten, worauf man sicher sein kann, dass alle Luft durch den aus dem offenen Ende von *C* ausströmenden Wasserdampf ausgetrieben ist. Dieses Ende wird jetzt, während der Dampf noch durchströmt, mit einem andern Quetscher verschlossen (wie Fig. 1. zeigt) und unmittelbar darauf die Flamme unter *B* weggenommen. Beim Abkühlen muss das im Apparat zurückbleibende Wasser in lebhaftes Kochen gerathen, falls die Luft gehörig ausgetrieben ist. Ist das Wasser in *B* soweit abgekühlt, dass durch seine Berührung mit dem bluthaltigen Wasser des Kolbens keine Gerinnung mehr zu befürchten ist, so öffnet man die Verbindung zwischen *A* und *B* durch Wegnahme des Quetschers und schiebt durch vorsichtiges Drehen den Kolbenhals in den nun durch den Luftdruck in der Mitte zusammengepressten Schlauch soweit hinein, dass er mit *B* (bei *a*) in unmittelbare Berührung kommt. Die Flüssigkeit im Kolben steht jetzt in

directer Verbindung mit dem nur Wasserdampf enthaltenden Raume *B* und *C*; eine geringe Erwärmung reicht hin, sie in lebhaftes Kochen zu versetzen, namentlich wenn man für gute Abkühlung der Vorlage sorgt. Bei beginnendem Erwärmen entwickeln sich nur die kleinen Blasen der freien Gase, die mehr und mehr den grossen des Wasserdampfes Platz machen. Ich habe als Regel angenommen, das Kochen noch mindestens $\frac{1}{2}$ Stunde nach dem Beginnen des grossblasigen Kochens fortzusetzen. Um zu verhindern, dass nach vollendetem Auskochen ein Theil der Gase in *B*, oder Flüssigkeit in *C*, wohin immer ein Theil derselben übergerissen wird, bleibe, verfährt man zweckmässig auf folgende Weise. Da man das Blut, ohne es gerinnen zu machen, nicht so stark erwärmen darf, dass die sich ausdehnende Flüssigkeit die Kugel *B* vollständig anfüllt, so liess ich durch den im Bauch des sehr schräg gelegten Kolbens entwickelten Wasserdampf die Flüssigkeit bis *b* empordrücken und sperrte darauf die Verbindung bei *a* in der früher angebenen Weise wieder ab, nachdem zuvor der Kolbenhals aus dem Schlauche wieder ein wenig zurückgezogen. Die jetzt das Stück *B* anfüllende Flüssigkeit kann durch die Berührung mit den ausgetriebenen Gasen wieder einen Theil derselben absorbirt haben; es ist daher nöthig, dieselben nochmals auszukochen. Dabei wird durch den in *B* entwickelten Wasserdampf etwas Flüssigkeit nach *C* übergetrieben; kocht man zuletzt diese, während *B* abgekühlt wird, so treibt die jetzt in *C* stärkere Dampfspannung die Flüssigkeit wieder vollständig nach *B*, und man hat so eine vollständige Trennung der Gase von der Flüssigkeit bewirkt, wenn man mit einer dritten der beschriebenen Klemmen die Verbindung bei *C* unterbricht.

Die zweite Aufgabe ist jetzt, die im Blute chemisch gebundene Kohlensäure, die sich durch Kochen nicht austreiben lässt, zu bestimmen. Man öffnet die Verbindung bei *a*, worauf der Kolben sich wieder vollständig mit Flüssigkeit füllt, und zieht alsdann den Schlauch *b* von dem verengten Theile des Stückes *B*. Die jetzt noch in der Kugel *B* enthaltene Flüssigkeit lässt man schnell ausfliessen und bestimmt ihr Volumen, am besten indem man sie in einem Maasscylinder auffängt, und entfernt die Kugel *B*. In den Kolben wirft man rasch einige grosse Krystalle von Weinsäure und verschliesst ihn sofort wieder. Einige Gramme der Säure sind ausreichend, dem Blute eine stark saure Reaction zu ertheilen. Da man den In-

halt des ganzen Ballons kennt, so wie die aus der Kugel ausgeflossene Flüssigkeitsmenge, so ergiebt eine einfache Rechnung, wie viel von dem angewandten Blute noch im Kolben enthalten ist. Mit diesem Rückstande wird jetzt, nachdem man eine neue Vorlage aufgesetzt, dasselbe Verfahren wiederholt.

Die beiden so mit Gas gefüllten Röhren *C* werden an den Enden C unter Quecksilber geöffnet und das Volumen dės in ihnen enthaltenen Gases wie in einem Eudiometer oder Absorptionsrohre abgelesen. Ich gebe die erhaltenen Ablesungen sogleich in Cubikcentimetern an, wobei ich bemerke, dass einem Millimeter der Theilung meiner Röhren ein Volumen von 0,44 bis 0,47 CC. entspricht; der Ablesungsfehler sollte also nicht ganz 0,05 CC. betragen. Da indess nie ganz zu verhüten ist, dass etwas Schaum in die Röhre während des Kochens eindringt, an den Wänden haften bleibt und endlich auf der Oberfläche des Quecksilbers in einer dünnen Schicht Flüssigkeit sich ansammelt und so die Ablesung erschwert, so kann der Fehler derselben wohl 0,1 bis 0,2 CC. betragen, letztere Grösse jedoch nicht wohl überschreiten.

Das weitere Verfahren ist jetzt eine einfache Gasanalyse nach den bekannten Bunsenschen Methoden.

Das zu diesen Versuchen verwandte Blut von Hunden habe ich auf hiesiger Anatomie aufgefangen, deren Räume mir der Herr Geh. Hofrath Prof. Dr. Arnold auf's bereitwilligste zur Benutzung überliess. Ich habe einstweilen nur arterielles verwandt, theils weil nur für dieses die Zusammensetzung der Atmosphäre, mit der es in Berührung war, einigermassen bekannt ist, theils weil bei so kleinen Thieren, wie sie mir zu Gebote standen (Hunden von 15 bis 20 Pfund), das Blut aus den Venen so langsam fliesst, dass ich eine merkliche Absorption atmosphärischer Luft während des Auffangens befürchten musste. Bei den hier angeführten Versuchen diente immer das Blut aus der arteria carotis; ich habe mich indess bei verschiedenen Vorversuchen überzeugt, dass auch die art. crur. sehr wohl zu verwenden ist. Wo einem Thiere mehrmals Blut entzogen wurde, liess ich jedesmal etwa 14 Tage zwischen beiden Aderlässen verstreichen, um die Zusammensetzung des Blutes zur Norm zurückkehren zu lassen. Auf diesem Wege wurden folgende Zahlenresultate erhalten.

Febr. 12. Hund Nr. 1. 7,5 Kilo schwer. 43,37 CC.

Blut aus der Arteria car. wurden auf die beschriebene Art ¾ Stunden lang gekocht; das Gas in Röhre Nr. 3 aufgefangen. Weiteres 3¼stündiges Kochen mit einer neuen Vorlage lieferte eine nicht mehr messbare Gasmenge. Der nach diesen beiden Auskochungen bleibende, 40,93 CC. Blut entsprechende Rückstand wurde alsdann mit Weinsäuekrystallen versetzt und nach ¾stündigem Auskochen das erhaltene Gas in Röhre Nr. 2 aufgefangen. Die Messung und Analyse derselben gab folgende Resultate:

Röhre Nr. 3 mit dem durch Kochen ausgetriebenen Gase.

	Volumen	Druck [1])	^{0}C	Vol. bei ^{0}0 u. 0,76^m
Gesammtes Gas	11,44 CC.	0,6275	11°,7	9,06 CC.

Ein Theil dieses Gases im Absorptionsrohr *B*.

	Volumen	Druck	°C	Vol. bei 0° u. 1$_m$
Anfangsvolumen	22,6	0,5990	11°,2	13,0
Nach Zusatz von Wasserstoff	47,2	0,6209	12°,0	28,1
Nach Absorption der CO_2	40,7	0,6236	9°,4	24,6

CO_2 freies Gas im Eudiometer E.

	Vol.	Druck	°C	Vol. bei 0° u. 1^m
Anfangsvolumen	148,7	0,4757	10°,3	68,2
Nach Zus. v. Wasserstoff	204,9	0,5303	10°,7	104,6
Nach d. Explosion	97,2	0,4248	8°,4	40,1

Die aus 43,37 CC arteriellem Blute erhaltenen:

9,06 CC. Gas enthalten demnach:
5,39 CC. Sauerstoff
1,23 CC. Stickstoff
2,44 CC. Kohlensäure;

und 100 Vol. Blut enthalten an freien, durch Kochen austreibbaren Gasen:

12,43 Vol. Sauerstoff
2,83 Vol. Stickstoff
5,62 Vol. Kohlensäure

zusammen 20,88 Vol. freies Gas; alles gemessen gedacht bei 0° u. 0,$_m$76 Druck.

1) Alle Druckangaben in dieser Arbeit sind auf Quecksilber

Röhre Nr. 2 mit dem durch Weinsäure ausgetriebenen Gase.

	Vol.	Druck	°C	Vol. bei 0° u. 0m,76
Gesammtes Gas	15,11	0,6132	11°2	11,71 CC.

Davon im Absorptionsrohr *A*.

	Vol.	Druck	°C.	Vol. bei 0° u. 1m.
Anfangsvolumen	13,8	0,5886	12,2	7,8
Nach Zus. v. Wasserstoff	34,4	0,6096	12,0	20,1
Nach Absorpt. d. Kohlensäure	21,3	0,6050	9,4	12,5
		Kohlensäure		7,6.

Das durch Kochen mit Weinsäure ausgetriebene Gas erweist sich also, innerhalb der Fehler der Beobachtung, als reine Kohlensäure.

Wir haben also chemisch gebundene Kohlensäure:
in 40,93 CC. Blut 11,71 CC. bei 0° u. 0m,76
in 100 „ „ 28,61 „ „ „

Demnach beträgt die gesammte Kohlensäure:
in 100 CC. Blut 34,23 „ „ „

Febr. 28. Demselben Hunde wurden aus der Carotis der andern Seite unmittelbar nach einander zwei Portionen Blut entzogen, die erste von 42,0 CC. die zweite von 46,63 CC.

Das durch einfaches Auskochen der ersten Portion von 42,00 CC. erhaltene Gas ging verloren; die nach dem Aufsetzen einer neuen Vorlage noch im Kolben enthaltenen 40,35 CC. Blut gaben bei einstündigem Auskochen mit Weinsäure:

	Vol.	Druck	°C.	Vol. bei 0° u. 0m,76
Gesammtes Gas in Röhre Nr. 4	13,86 CC.	0,6538	9°,2	11,53 CC.
Absorptionsrohr *B* mit Luft	24,3 Vol.	0,6114	4°,5	14,6 Vol.
Nach Zusatz von Gas aus Nr. 4 u. Absorption d. Kohlensäure	24,9 „	0,6066	10°,8	14,5 „

von 0° reducirt; die Correction für die Tension des Wasserdampfes ist in ihnen schon enthalten.

Auch dieses Gas war also reine Kohlensäure. Es enthielten also an chemisch gebundener Kohlensäure:

40,35 CC Blut 11,53 CC bei 0° u. 0^m,76
also 100 „ „ 28,58 „ „ „

Die zweit aufgefangene Portion desselben Blutes von 46,63 CC. gab nach ½ Stunde kleinblasiger Gasentwickelung und einer Stunde grossblasigem Kochen:

Röhre 2. mit dem freien Gase.

	Vol.	Druck	°C.	Vol. bei 0° u. 0^m,76
erste Ablesung	15,10 CC.	0,6183	9°,6	11,87 CC.
zweite „	14,85 „	0,6302	9°,2	11,91 „

Beim Ueberfüllen dieses Gases in das Absorptionsrohr *B* gerieth von aussen her eine Luftblase mit in dasselbe. Diese Verunreinigungs des Gases lässt sich berechnen, da es gelang den ganzen Inhalt von Nr. 2 in *B* zu bringen. Es war in *B*:

	Vol.	Druck	°C.	Vol. bei 0° u. 1^m.
	43,0	0,6320	7°,7	26,4

Da aber ein corrigirtes Volumen von *B* = 0,3900 CC ist, so sollten die aus Nr. 2 übergefüllten 11,89 CC. Gas b i 0° u. 1^m nur 23,17 corrigirte Volumina von *B* betragen; die eingetretene Luft beträgt also: 3,25 Vol. bei 0° u. 1^m. Wir haben jetzt.

Absorptionsrohr *B*	Vol.	Druck	°C.	Vol. bei 0_0 u. 1^m.
Anfangsvolumen	—	—	—	23,2
Nach Zusatz von Luft	63,5	0,6514	8_0,8	40,1
Nach Absorption der CO_2	54,2	0,6510	6_0,7	34,4
Eudiometer C. Anfangsvolum	188,8	0,2920	6_0,8	53,8
Nach Zusatz von Wasserstoff	406,2	0,5013	7°,3	198,3
Nach d. Explosion	306,9	0,4024	5°,6	121,1
Nach Zusatz von Luft	608,0	0,6877	6°,2	408,8
Nach d. Explosion	484,2	0,5695	6°,6	269,2

Die Berechnung dieser Analyse ergiebt, die Zusammensetzung der atmosphärischen Luft zu 0,7903 Vol. N und 0,2096 Vol. O angenommen, für die durch einfaches Auskochen aus den 46,63 CC. Blut erhaltenen

11,89 CC. Gas die Zusammensetzung:
6,66 „ Sauerstoff
2,35 „ Stickstoff
2,88 „ Kohlensäure.

100 Vol. Blut enthalten also:

14,29 Vol. Sauerstoff
5,04 „ Stickstoff
6,17 „ Kohlensäure.

Ziehen wir diese und die vorhergehende unvollständige Bestimmung für dasselbe Blut zusammen, so würde der Gesammtgehalt an Kohlensäure betragen: in 100 Vol. Blut

34,75 Vol. bei 0° u. 0,m76.

Die letzte Analyse zeigt noch ausserdem, was ich bei verschiedenen Vorversuchen schon durch Verpuffen mit Knallgas constatirt hatte, dass die Gase des Blutes keine brennbaren Bestandtheile enthalten. Der in *C* zugesetzte Wasserstoff beträgt nämlich 144,5 Vol., die erste Contraction 77,2 Vol., die zweite 139,6, zusammen 216,8 Vol., was, wenn nur Knallgas verbrannte, 72,27 Vol. Sauerstoff und 144,54 Vol. Wasserstoff entspricht.

Febr. 19. Hund No. 2, etwa ¾ Jahre alt, 9,5 Kilogramm schwer. Es wurden 2 Portionen Blut aus der art. car. unmittelbar nach einander aufgefangen, die erste von 37,16 CC., die zweite von 32,34 CC. Jene wurde sogleich mit krystallisirter Weinsäure versetzt, diese auf die beschriebene Weise erst für sich, dann gleichfalls mit derselben Säure ausgekocht.

Erste Portion von 37,16 CC. Dieselbe wurde, wie erwähnt, sofort mit Weinsäure versetzt. Beim Erwärmen dauerte die sichtbare Gasentwickelung etwa ½ St., worauf das grossblasige Kochen noch 1 Stunde fortgesetzt wurde. Die Analyse der erhaltenen Gase ergab:

Röhre No. 3	Vol.	Druck	°C.	Vol. bei 0° u. 0,m76
Gesammtes Gas	15,60 CC.	0,6285	7°,1	12,57 CC.

Absorptionsrohr *A*	Vol.	Druck	°C.	Vol. bei 0° u. 1m
Anfangsvolum.	40,5	0,6131	8°,1	24,1
Nach Zusatz von Wasserstoff	83,9	0,6640	6°,95	54,3
Nach Absorption der Kohlensäure	55,6	0,6423	5°,3	35,0

Eudiometer *C*	Vol.	Druck	°C.	Vol. b. 0° u. 1m
Anfangsvolumen	183,3	0,2924	6°,6	52,3
Nach der Explosion	155,5	0,2649	6°,8	40,2
Nach Zusatz von Luft	387,6	0,4817	7°,3	181,9
Nach der Explosion	316,4	0,4203	8°,0	129,2

Die Rechnung ergiebt aus diesen Daten, dass aus den 37,16 CC. arteriellen Blutes erhalten werden:

1,41 CC. Sauerstoff
1,09 „ Stickstoff
10,07 „ Kohlensäure (freie und gebundene)

zusammen 12,57 CC. Gas.

Zweite Portion von 32,34 CC. desselben Blutes. Dieselbe wurde zunächst ohne Säure $2\frac{3}{4}$ Stunden gekocht und die erhaltenen Gase in Röhre No. 1 aufgefangen. Beim nachherigen Oeffnen des Kolbens blieben 29 CC. von 939 CC. in der Kugel *B* (Fig. 1); der Rückstand, der demnach noch 31,27 CC. Blut enthielt, wurde mit Weinsäure versetzt und die durch $\frac{3}{4}$ Stunden grossblasigen Kochens entwickelten Gase in Röhre No. 2 aufgefangen.

Röhre No. 1	Vol.	Druck	°C.	Vol. bei 0° u. 0,m76
Freies Gas	11,52 CC.	0,6182	7°,1	9,13 CC.

Absorptionsrohr *B*	Vol.	Druck	°C.	Vol. bei 0° u. 1m
Anfangsvolumen	26,9	0,6047	8°,1	15,8
Nach Zusatz von Wasserstoff	71,8	0,6499	6°,95	45,5
Nach Absorption der Kohlensäure	66,6	0,6511	5°,3	42,6

Eudiometer *C*				
Anfangsvolumen	217,3	0,3154	5°,5	67,2
Nach der Explosion	95,8	0,1954	5°,3	18,4
Dasselbe nochmals	90,9	0,2053	5°,4	18,3

Röhre No. 2	Vol.	Druck	°C.	Vol. b. 0° u. 0,m76
Durch Säure ausgetriebenes Gas	8,59 CC.	0,5952	7°,1	6,56 CC.
Ein Theil desselben im Absorptionsrohr	23,6	0,5816	8°,05	17,5
Nach Zusatz von Wasserstoff	58,2	0,6181	6°,95	46,2
Nach Absorption der Kohlensäure	37,2	0,6020	5°,30	28,9
Absorbirte Kohlensäure				17,3

Diese Portion ergab also in 32,34 CC. Blut:

5,96 CC. Sauerstoff
1,47 „ Stickstoff
1,71 „ Kohlensäure

zusammen 9,13 freies Gas.

Der mit Säure ausgekochte Rückstand von 31,27 CC. gab, mit Weinsäure ausgekocht:

6,56 CC. gebundene Kohlensäure.

Berechnen wir diese, sowie die Analyse der ersten Portion, auf 100 Volumina Blut, so erhalten wir:

	I. Portion, sogleich mit Säure versetzt:	II. Portion, erst ohne, dann mit Säure gekocht
Sauerstoff	3,79	18,42
Stickstoff	2,94	4,55
freie Kohlens.	—	5,28
gebundene „	—	20,97
gesammte „	27,10	26,25
gesammte Gasmenge	33,84	49,21

Diese Zusammenstellung zeigt uns eine sehr gute Uebereinstimmung der erhaltenen Kohlensäuremengen. Die Quantitäten Stickstoff sind etwas verschieden, jedoch nicht so sehr, dass man den Unterschied nicht auf das Verfahren schieben könnte, zumal wenn man bedenkt, dass sowohl die bei der Gewinnung der Gase begangenen, als auch die Fehler der Analyse sich grossentheils auf den Stickstoff häufen. Die Quantitäten des Sauerstoffs zeigen aber eine so erhebliche Verschiedenheit, dass man dieselbe unmöglich auf einen Fehler der Arbeit schieben könnte, auch wenn nicht der gleich mitzutheilende Controlversuch

dasselbe Resultat ergäbe. Die sogleich mit Weinsäure versetzte Portion Blut ergiebt nur den fünften Theil des aus der andern erhaltenen Sauerstoffs. Der verschwundene Rest muss also durch die Gegenwart der Säure in eine chemische Verbindung übergeführt sein, aus der er durch Auskochen nicht mehr abgeschieden werden kann. Man hat früher darüber gestritten, ob der Sauerstoff ins Blut aufgenommen werden könne, ohne dass eine entsprechende Menge Kohlensäure dafür entwickelt werde; wir sehen hier, dass der Sauerstoff unter Umständen sogar bleibend chemisch gebunden werden kann, ohne die geringste Spur Kohlensäure zu bilden. Welche Verbindung dabei entstehe, welche Substanz höher oxydirt werde, darüber können zunächst nur Vermuthungen angestellt werden; möglicherweise könnte das Acidalbumin von Panum oder das Krystallacid von Lehmann bei seiner Bildung Sauerstoff aufnehmen. Mit dieser Eigenthümlichkeit des Blutes, oder vielmehr eines seiner Bestandtheile, in Berührung mit Säuren sich höher zu oxydiren, hängt vielleicht der grosse Sauerstoffverbrauch der sauer reagirenden Muskeln zusammen, sowie die Farbenänderung des sauerstoffhaltigen Blutes durch Säuren ihren Grund zum Theil in dem Verschwinden des freien Sauerstoffs haben möchte. Der weitere Verfolg dieses Gegenstandes dürfte die Aufmerksamkeit der physiologischen Chemie verdienen.

Zum Vergleiche wurden die folgenden Versuche mit Blut angestellt, das seinen Gasgehalt mit der Atmosphäre ausgeglichen. Da die Luft der Lungenbläschen mindestens 8 $\frac{0}{0}$ Kohlensäure enthält (Vierordt, Becher), die atmosphärische Luft aber nur Spuren derselben, so musste derjenige Theil der Kohlensäure, der etwa einfach absorbirt im arteriellen Blute enthalten ist, beim Schütteln mit immer erneuerter atmosphärischer Luft entweichen, wogegen, falls auch der Sauerstoff dem Henry-Daltonschen Gesetze gehorchte, eine grössere Menge, entsprechend dem grösseren partiaren Drucke aufgenommen werden musste. Bei dem zu diesem Zwecke angestellten Versuche wurde Blut von Pflanzenfressern angewandt. Dies wird zwar einen Unterschied bedingen, jedoch kaum einen solchen, dass nicht die Resultate im Grossen und Ganzen interessante Vergleichungspunkte böten. Der Versuch ergab Folgendes.

Noch warmes defibrinirtes Kalbsblut wurde anhaltend mit fortwährend erneuerter atmosphärischer Luft geschüttelt.

Die Temperatur des Blutes fiel während des Schüttelns von $22^0,4$ auf $21^0,2$ Cels. Der Barometerbestand war (auf 0^0 reducirt) 0^m7463.

48,37 CC. dieses Blutes wurden zunächst ohne Säurezusatz ausgekocht. Die sichtbare Gasentwickelung dauerte 35 Minuten, worauf das Kochen noch 30′ fortgesetzt wurde.

Röhre Nr. 1	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0° u. 0^m,76
freies Gas	10,57 CC.	0,6305	17°,4	8,24 CC.

Absorptionsrohr *A*	Volum.	Druck	°C.	Vol. b. 0° u. 1^m
Anfangsvolumen	27,5	0,5889	15°,9	15,3
Nach Zusatz von Wasserstoff	87,2	0,6486	16°,6	53,3
Nach Absorption d. Kohlensäure	83,2	0,6654	15°,8	52,3
Eudiometer C.				
Anfangsvolumen	223,7	0,3707	18°,4	77,7
Nach Zusatz von Wasserstoff	323,2	0,4664	17°,1	141,9
Nach d. Explosion	252,3	0,4007	15°,3	95,7
Nach Zusatz von Luft	593,6	0,7201	18°,0	401,0
Nach d. Explosion	540,2	0,6001	18°,4	267,9

Röhre Nr. 3	Volum.	Druck	°C.	Vol. b. 0° u. 0_m,76
Durch Säure ausgetriebenes Gas	11,00 CC.	0,6242	17°,4	8,49 CC.

Absorptionsrohr	Volumen	Druck	°C.	Vol. b. 0_o u. 1^m
Atmosphärische Luft	55,2	0,5965	15°,9	31,0
Nach Zusatz von Gas aus Nr. 3.	79,4	0,6156	17°,4	45,9
Nach Absorption d. Kohlensäure	54,9	0,6155	17_o,1	31,8.

Es waren also enthalten in 48,37 CC. Blut:

freies Gas 8,24 CC.

und zwar:

Sauerstoff 5,58 „
Stickstoff 2,13 „
Kohlensäure 0,53 „

Der mit Säure ausgekochte Rückstand von 46,88 CC. ergab:
gebundene Kohlensäure 8,49 CC.

Eine zweite Portion desselben Blutes von 42,55 CC. wurde sogleich mit Weinsäure versetzt und nachdem sie etwa 1 Stunde gestanden, gleichfalls ausgekocht. Die vorher hellrothe Farbe der Mischung war während des Stehens in eine braunrothe übergegangen. Die Auskochung ergab:

Röhre Nr. 2.	Volumen	Druck	°C.	Vol. b. 0° u. 0m,76
Gesammte Gasmenge	17,27 CC.	0,6272	17°,4	13,40 CC.

Absorptionsrohr *B*	Volumen	Druck	°C.	Vol. bei 0° u. 1m.
Anfangsvolumen	38,4	0,6009	15°,9	21,8
Nach Zusatz von Wasserstoff	78,6	0,6344	16°,6	47,0
Nach der Absorption der Kohlensäure	53,8	0,6304	15°,8	32,1
Eudiometer *E*.				
Anfangsvolumen	127,9	0,4580	18°,4	54,9
Nach d. Explosion	86,8	0,4191	17°,1	34,2
Nach Zus. v. Luft	237,7	0,5668	15°,3	127,6
Nach d. Explosion	172,8	0,5052	18°,0	81,9

Die angewandten 42,55 CC. Blut ergaben also:

Sauerstoff 2,47 CC. bei 0° u. 0m,76
Stickstoff 1,76 „ „ „
Kohlensäure 9,17 „ „ „
im Ganzen Gas 13,40 „ „ „

Die Berechnung dieser und der vorigen Analyse desselben Blutes auf 100 Volumen ergiebt:

	sogleich mit Säure versetzte Portion:		erst für sich, dann mit Säure ausgekochte Portion:
Sauerstoff	5,81	—	11,55
Stickstoff	4,12	—	4,40
freie Kohlensäure	—	—	1,09
gebundene „	—	—	18,12
gesammte „	21,56	—	19,21
gesammte Gasmenge	31,49	—	35,16

Es bestätigt sich hier also das schon besprochene Verhalten des Sauerstoffs, bei Gegenwart von Säure der Art oxydirend auf das Blut einzuwirken, dass er durch Kochen nicht mehr ausgeschieden werden kann. Die durch Kochen austreibbare Kohlensäure zeigt sich in diesem mit Luft geschüttelten Blute bedeutend geringer als im arteriellen. Wie der Kohlensäuregehalt der äussern Atmosphäre bedeutend geringer ist als der der Luft in den Lungenbläschen, so zeigt auch das mit atmosphärischer Luft geschüttelte Blut einen erheblich geringern Kohlensäuregehalt als das arterielle, das mit der Lungenluft in Berührung war. Die beobachtete Kohlensäuremenge von 1,0 Vol. ist allerdings noch etwas grösser als man nach dem partiaren Drucke der Kohlensäure der Atmosphäre erwarten sollte; es erklärt sich dies aber sehr leicht dadurch, dass die Ausgleichung vielleicht noch keine ganz vollständige gewesen sei. Es unterliegt demnach kaum noch einem Zweifel, dass ein Theil der im Blute erhaltenen Kohlensäure dem Absorptionsgesetze gehorche. Für den Sauerstoff dagegen wird es nicht eben wahrscheinlich, dass er demselben Gesetze folge, da seine Menge noch nicht einmal die im arteriellen Blute vorhandene erreicht hat, während seinem partiaren Drucke zufolge eine Vermehrung zu erwarten stand. Der Stickstoffgehalt endlich ist derselbe, wie im arteriellen Blute, entsprechend seinem gleichgebliebenen Drucke. Wir kommen bei den unten mitzutheilenden Absorptionsversuchen mit Blut auf die Frage der Abhängigkeit vom Drucke zurück.

Zur bequemeren Vergleichung stelle ich hier noch einmal die durch die mitgetheilten Analysen erhaltenen Zahlen zusammen, indem ich noch eine unvollständige Analyse beifüge, in der 32,1 CC. Blut aus der Art. car. des Hundes Nr. 2 7,68 CC. (bei 0° u. 0^m,76) gebundene Kohlensäure lieferten. Die eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf die Versuche, in denen der Zusatz der Weinsäurekrystalle gleich im Anfang geschah, während in den übrigen das Blut erst für sich und dann mit der Säure ausgekocht wurde.

Aus 100 Vol. Blut erhaltene Gasmengen bei 0° u. 0^m,76.

Datum	Art des Blutes	freies Gas	O	N	freie CO_2	gebund. CO_2	gesammte CO_2	gesammtes Gas
Jan. 17.	Art. car. Hund Nr. 2.	—	—	=	—	23,75	—	—
Febr. 12.	" " " Nr. 1.	20,88	12,43	2,83	5,62	28,61	34,23	49,49
" 19.	" " " Nr. 2.	—	(3,79)	(2,94)	—	—	(27,10)	(33,84)
" "	" " " " "	28.24	18,42	4,55	5,28	20,97	26,25	49,21
" 28	" " " Nr. 1.	25,50	14,29	5,04	6,17	28,58	34,75	54,08
	defibrinirtes Kalbsblut mit Luft geschüttelt	17,04	11,55	4,40	1,09	18,12	19,21	35,16
		—	(5,81)	(4,12)	—	—	(21,56)	(31,49)

Die Uebereinstimmung dieser Zahlen kann als eine genügende betrachtet werden, zumal die Zusammensetzung des Blutes selbst eine wechselnde ist. Das Blut eines und desselben Thieres hat sogar sehr constante Resultate gegeben. Für die Verschiedenheit des Blutes der beiden Hunde möchte ein hinreichender Grund in dem verschiedenen Alter derselben gefunden werden; der mit Nr. 2 bezeichnete, dessen Blut sich bedeutend reicher an Sauerstoff und ärmer an gebundener Kohlensäure zeigte, war etwa $\frac{3}{4}$ Jahr alt und kaum ausgewachsen.

Der wechselnde Gehalt an gebundener Kohlensäure erklärt sich leicht aus dem bekanntlich wechselnden Salzgehalt des Blutes. Eine Schwankung von 12 bis 18 Vol. $\frac{0}{0}$ im Sauerstoff könnte dagegen auffallend erscheinen, falls derselbe eigentlich absorbirt wäre. Eine solche Verschiedenheit des Absorptionscoëfficienten würde kaum zu erklären sein. Wir werden indess noch weiter unten sehen, dass das Absorptionsgesetz für Sauerstoff und Blut keine oder doch nur eine beschränkte Anwendung findet.

Durch diese meine Zahlen werden auch die Resultate der ausgezeichneten Arbeit von Magnus (Poggendorfs Ann. N. F. Band 40 u. 66) bestätigt. Derselbe fand bekanntlich, indem er durch

abwechselndes Schütteln mit atmosphärischer Luft und Kohlensäure je eines dieser Gase durch das andere verdrängte, dass das Blut von Rindern, Kälbern und Pferden 10 bis 16 Vol. $\frac{0}{0}$ (gemessen bei 0^0 und mittlerem Barometerstand) Sauerstoff aufzunehmen vermöge und an eine Kohlensäureatmosphäre, wenn es zuvor mit atmosphärischer Luft gesättigt worden, 10 bis 12,5 Vol. $\frac{0}{0}$ Sauerstoff [1]) und 1,7 bis 3,3 Vol. $\frac{0}{0}$ Stickstoff abgebe. Die gleiche Quantität, nämlich 10 und 10,5 Vol. $\frac{0}{0}$ Sauerstoff und 3,3 und 2,0 Vol. $\frac{0}{0}$ Stickstoff wies er durch dieselbe Methode im arteriellen Blute von Pferden als wirklich vorhanden nach. Die Uebereinstimmung dieser Zahlen mit meinen nach einer ganz verschiedenen Methode erhaltenen ist eine so grosse, wie sie bei der wechselnden Beschaffenheit des Blutes nur erwartet werden kann. Dass meine für den Stickstoff erhaltenen Zahlen durchschnittlich etwas grösser sind, kann vielleicht seinen Grund darin haben, dass bei meiner Methode der Zutritt der atmosphärischen Luft zum Wasser des Kolbens wenigstens einige Augenblicke gestattet ist. Man sieht indess aus der Vergleichung meiner mit den Magnusschen Zahlen, dass der dadurch bewirkte Fehler ein verhältnissmässig kleiner ist. Da Magnus wahrscheinlich nie die ganzen im Blute enthaltenen Sauerstoff- und Stickstoffmengen erhielt, seine Zahlen also eher zu klein als zu gross sind, so möchte die Wahrheit zwischen beiden liegen und die im Blute enthaltene Stickstoffmenge durchschnittlich 3 Vol. $\frac{0}{0}$ (b. 0^0 u. $0^m,76$) betragen. Der durch die gleiche Ursache bewirkte Fehler meiner Sauerstoffbestimmungen ist natürlich erheblich kleiner, höchstens halb so gross.

2. Absorptionsversuche mit Blut.

Nachdem die Quantität der im kreisenden Blute vorhandenen Gase festgestellt, war die nächste Aufgabe die

---

1) Darin, dass das beobachtete Maximum des aufgenommenen Sauerstoffs von dem des abgeschiedenen nicht erreicht wird, findet Donders (Physiologie des Menschen, deutsche Ausg. Bd. I. S. 365) einen „Grund für eine chemische Umwandlung des Blutes in den Lungen". Derselbe möchte nach meinen Zahlen nicht mehr stichhaltig sein.

Erforschung der Gesetze, nach denen die Aufnahme und Ausgabe derselben von statten geht; mit andern Worten: es mussten Absorptionsversuche angestellt werden. Die einzigen bisher angestellten Versuche dieser Art sind die von Magnus; diese lassen uns jedoch über den Einfluss des Druckes auf die aufgenommenen Quantitäten Gas im Dunkeln, da dieselben nur den Zweck hatten, die unter dem Druck der Atmosphäre vom Blute aufgenommenen Mengen Sauerstoff und Stickstoff zu bestimmen. Die Untersuchungsmethode brachte dabei zugleich eine Bestimmung der aus einer reinen Kohlensäureatmosphäre aufgenommenen Quantität dieses Gases mit sich. Unter welchem Drucke diese Aufnahme geschah, ist in der Publication nicht angegeben. Sie betrug das Ein- bis Anderthalbfache vom Volumen des Blutes, nämlich 154,0, 138,4 und 92,1 Vol. % Kohlensäure (bei 0° u. $0^{m},76$?)

Zur Entscheidung der Frage, ob und wie weit die im Blute enthaltenen Gase dem Absorptionsgesetze folgen, lässt sich leider das von Bunsen angegebene Absorptiometer nicht verwenden, da das Quecksilber beim Schütteln mit Blut zu einem zusammenklebenden Brei feiner Perlen zerstiebt, der jede Druckbestimmung unmöglich macht. Ich habe mir daher zu dem vorliegenden Zwecke einen andern Apparat construiren müssen, der zwar dem Bunsenschen an Schärfe der Beobachtung nicht gleich kommt und namentlich keine Regulirung der Temperatur erlaubt, der indess, in einem Raume von ziemlich gleichmässiger Temperatur angewandt, eine vollkommen hinreichende Genauigkeit gewährt. Derselbe ist in Fig. 3 in $\frac{1}{5}$ der wirklichen Grösse abgebildet. In einem gusseisernen Dreifusse sind mittelst aufgekitteter Fassungen zwei etwa 700 Mm. lange, 15 Mm. weite Glasröhren einander parallel und senkrecht eingeschraubt. Der eiserne Fuss ist so durchbohrt, dass die beiden Röhren innerhalb desselben sowohl mit einander, als mit den eingekitteten kurzen Glasröhren *a* und *b* in Verbindung stehen. Die oben verdickt ausgezogene und hakenförmig kurz umgebogene Röhre *G* dient zur Aufnahme der zum Versuch zu verwendenden Gase, während *D* zur Regulirung des Druckes bestimmt ist. Die kleine Röhre *a* dient zum Auslassen des als Sperrflüssigkeit gebrauchten Quecksilbers, *b* zum Einführen der Gase. An beide sind dickwandige, etwa spannenlange Kautschukröhren mit-

telst umgewickelten feinen Eisendrathes befestigt. Zum Verschluss dieser Röhren dienen die schon im ersten Theile dieser Arbeit erwähnten eisernen Quetscher. An das umgebogene offene Ende der Röhre *G* lässt sich mittelst eines in der oben beschriebenen Weise behandelten und auf seine Dichtigkeit sorgfältig geprüften Kautschukschlauches das zur Aufnahme des Blutes bestimmte Gefäss *B* luftdicht befestigen. Letzteres hat eine Weite von 20 bis 25 Mm. bei einer Länge dieses weiten Theiles von 50 bis 250 Mm. und trägt, wie *D* und *G* eine eingeätzte Millimetertheilung. An das obere Ende von *B* ist, gleichsam als Hals der Flasche, eine etwa 100 Mm. lange Glasröhre von der Weite des obern Endes von *G* angelöthet und wie dieses am freien Ende eben abgeschliffen. Es ist gut mehrere dieser Blutgefässe von verschiedener Länge zu haben, um nach Belieben grosse oder kleine Quantitäten Blut anwenden zu können. Sowohl *B* als *G* sind genau kalibrit, ihr Inhalt auf eine und dieselbe willkührliche Volumeneinheit zurückgeführt. Als solche diente nach Art der Bunsenschen Eudiometercalibrirung, das einem Millimeter der Theilung an einer beliebig gewählten Stelle von *G* entsprechende Volumen. Werden das Gefäss *B* und das Rohr *G* mit ihren abgeschliffenen Enden innerhalb des Kautschukschlauches in unmittelbare Berührung gebracht, so bilden beide ein zusammenhängendes Glasgefäss, dessen Capacität bis zu jedem beliebigen Punkte von *G* durch die Calibrirung bekannt ist. Die Verbindung zwischen *B* und *G* kann nach Belieben mittelst einer dritten der mehrfach erwähnten Klemmen luftdicht unterbrochen werden. Zur grössern Haltbarkeit ist hinter *D* und *G* eine eiserne Stange als Stütze eingeschraubt und mittelst eines zwischengelegten Holzstückchens und passender Kautschukringe die Röhren an dieselbe befestigt. An der Röhre *D* oder noch besser in derselben hängt ein Thermometer, das Zehntelgrade abzulesen erlaubt.

Die erste Aufgabe bei den jetzt zu beschreibenden Absorptionsversuchen besteht darin, das zu denselben zu verwendende defibrinirte Blut luftfrei zu machen. Ich bin dabei auf folgende Weise verfahren. Mittelst eines langen engen Trichterrohres wird das Blutgefäss *B* zu etwa zwei Drittheilen mit Blut angefüllt und durch ein System zwischengelegter mit Kugeln von grossem Durchmesser versehener Glasröhren mit der Glocke einer Luftpumpe verbunden.

Unter die Glocke stellt man ein flaches Gefäss mit Schwefelsäure, um den gebildeten Wasserdampf zu absorbiren. Stellt man das Gefäss *B* in warmes Wasser, so gelingt es durch fortwährendes Auspumpen leicht, das Blut beliebig lange in vollem Kochen zu erhalten. Es ist zweckmässig dabei nur etwa die untere Hälfte von *B* zu erwärmen, damit die Dampfentwickelung vom Boden des Gefässes ausgehe, und von Zeit zu Zeit dasselbe zu schütteln. Nach einiger Zeit zeigt die vollständige Farbenänderung des Blutes, dass der Sauerstoff, der, nach der ersten Versuchsreihe von Magnus [1]) zu schliessen, bei weitem am schwersten mit der Luftpumpe auszutreiben sein möchte, aus dem Blute vollständig verschwunden ist. Ich habe geglaubt keine weitere Prüfung dieser Annahme anstellen zu brauchen, da ich mich durch Versuche überzeugt habe, dass schon ein Volumprocent Sauerstoff sogleich eine lebhaft rothe Färbung hervorruft. Ich habe indess das Auspumpen jedesmal noch geraume Zeit nach dem Verschwinden der rothen Farbe fortgesetzt, um durch den entwickelten Wasserdampf die etwa noch vorhandene Luft vollständig auszutreiben. Nachdem etwa 30 bis 40 Minuten lang der Druck in der Glocke durch fortwährendes Auspumpen einer der Tension des Wasserdampfes ungefähr entsprechenden Höhe und das Blut in fortwährendem lebhaften Kochen erhalten, wird, während letzteres noch fortdauert, das enge Ende von *B* in seinem Kautschukschlauche etwas zurückgezogen, so dass für die verschliessende Klemme Platz entsteht, und diese angelegt. Leider bleibt bei diesem Verfahren immer eine ziemliche Quantität Blut als Schaum in den zwischengelegten Kugelröhren zurück, so dass es nicht möglich ist, das verkochte Wasser und somit die vergrösserte Concentration des Blutes genau zu bestimmen; indess ist dieselbe verhältnissmässig nicht gross, wie eine ungefähre Messung des wieder zusammengeflossenen Schaumes zeigt; sie beträgt nur einige Procente. Durch diese Aenderung der Concentration wird höchst wahrscheinlich die absolute Menge der aufgenommenen Gase etwas, wenn auch nicht erheblich verändert, indess würden die mitzutheilenden Versuche, auch wenn dieselbe bedeutender wäre, wenigstens unter einander vergleichbar sein. Das auf die angegebene Weise ver-

---

1) Pogg. Ann. n. F. Bd. 40. S. 583.

schlossene Gefäss *B* wird jetzt aus seiner Verbindung mit den Kugelröhren getrennt. Es enthält nur noch Blut und Wasserdampf, wovon man sich bei Vorversuchen überzeugen kann, indem man es unter Quecksilber öffnet.

Nachdem das Blut zum Versuche vorbereitet, muss das zu verwendende Gas abgemessen werden. Da das Volumen desselben auf der Scala von *G* abgelesen wird, der Druck aber sich aus dem Unterschiede der Ablesungen an *G* und *D* ergiebt, so ist es nöthig beide Scalen auf einander zu reduciren. Es geschieht dies einfach dadurch, dass man, während beide Röhren oben offen bleiben, *a* und *b* aber verschlossen sind, in *D* durch ein langes, enges, unten aufwärts gebogenes Trichterrohr Quecksilber eingiesst und bei senkrechter Stellung des Apparates dessen Stand in *G* und *D* abliest. Der Unterschied beider Ablesungen bildet die später bei der Berechnung des Druckes anzubringende Correction. Nachdem diese Bestimmung geschehen, in das obere Ende von *G* ein Tropfen Wasser gebracht und durch etwas ausfliessendes Quecksilber die etwa noch vorhandene Luft aus *a* und *b* verdrängt ist, werden die Röhren *D* und *G* bis oben hin mit Quecksilber gefüllt, das noch immer verschlossene Gefäss *B* mit seinem Kautschukrohre an *G* mit umgewickeltem dünnen Eisendrath befestigt, und *D* mit einem sehr gut passenden, dichten Korke, den man noch mit Collodium oder einer dünnen Kautschukplatte überziehen kann, verschlossen. Es befindet sich jetzt noch etwas Luft in dem hakenförmigen Ende von *G*, die durch Quecksilber verdrängt werden muss. Man bringt den ganzen Apparat langsam und vorsichtig in eine horizontale Lage, so dass *G* gerade unter *D* sich befindet, und senkt endlich das obere Ende etwas. Dabei fliesst Quecksilber in das obere Ende von *G*, während die Luft gegen das untere hinströmt und durch die Durchbohrung des Fusses nach *D* gelangt. Stellt man den Apparat wieder senkrecht, so sammelt sie sich unter dem Korke in *D* an. Man lüftet diesen, giesst die Röhre mit Quecksilber wieder voll und verschliesst sie von neuem. Um jetzt die letzten Spuren Luft zu vertreiben, lässt man durch *a* Quecksilber ausfliessen, wodurch in den obern Enden der Röhren ein luftverdünnter Raum entsteht, dem alle noch vorhandenen, jetzt sehr ausgedehnten Luftblasen zueilen. Durch passendes Neigen des Apparates kann man dieselben gleichfalls nach

D überführen, worauf man diese Röhre abermals ganz mit Quecksilber füllt und verschliesst. Nachdem nun aus dem Entwickelungsapparate, der das Gas zum Versuche liefern soll, alle Luft verdrängt ist, werden die an *a* und *b* befestigten Schläuche mit Quecksiber gefüllt und in solches eingetaucht, und darauf beide dieselben verschliessenden Klemmen fortgenommen. Das dadurch bedingte Ausfliessen des Quecksilbers hört auf, sobald die Höhe der ganzen Säule dem Atmosphärendrucke das Gleichgewicht hält. Wird nun das Rohr *b* mit dem Gasentwickelungsapparate in Verbindung gesetzt, indem man das Entwickelungsrohr desselben unter Quecksilber in den Schlauch einschiebt, so genügt ein sehr geringer Druck des Gases, dasselbe in *G* aufsteigen zu lassen. In dem Maasse als Gas durch *b* eintritt, fliesst Quecksilber durch *a* aus. Ist die nöthige Quantität Gas eingetreten, so entfernt man das Entwickelungsrohr wieder unter Quecksilber aus dem Schlauche *b* und verschliesst sowohl diesen als den an *a* befestigten. In dem hakenförmigen Theile von *G* ist jetzt noch etwas Quecksilber zurückgeblieben, das man durch ruckweises Bewegen des starkgeneigten Apparates leicht herausbringen kann. Endlich wird der Kork von *D* fortgenommen und so viel Quecksilber durch *a* herausgelassen, dass der Druck des Gases in *G* etwas weniger als der der Atmosphäre beträgt, das Quecksilber in *G* also höher als in *D* steht. Es ist dies zweckmässig, weil dann der äussere Luftdruck den *G* und *B* verbindenden Kautschukschlauch fest an die Glaswände anpresst, während' ein innen grösserer Druck denselben etwas ausdehnen könnte.

Nachdem man den so vorgerichteten Apparat mit dem vorher entfernten Thermometer versehen und eine halbe Stunde in einem gleichmässig temperirten Raume sich selbst überlassen, liest man den Stand des Quecksilbers in beiden Röhren, die Temperatur, den Barometerstand und das Volumen des Blutes in *B* ab. Letzteres würde bei der Undurchsichtigkeit desselben einige Schwierigkeiten haben, wenn nicht der obere Rand des concaven Meniscus sich sehr deutlich absetzte. Ich habe bei meinen Rechnungen die Höhe oder vielmehr Tiefe des Meniscus dem von reinem Wasser im selben Gefässe gleich angenommen, was in einer so weiten Röhre keinen merkbaren Fehler bedingen wird. Nachdem so Blut und Gas, jedes für sich gemessen,

wird die Verbindung zwischen beiden durch Lösung der Klemme zwischen *B* und *G* hergestellt. Das Gas tritt zum Theil in das Blutgefäss über, während Quecksilber aus *D* nachrückt. Sollte im obern Ende von *G* über der Klemme noch etwas Quecksilber zurückgeblieben sein, so fällt es jetzt in das Blut hinunter, durch dessen an der Theilung beobachtetes Steigen das Volum desselben gefunden wird. Dasselbe ist natürlich von dem des Gases in Abzug zu bringen. Um jetzt die Absorption zu befördern muss das Blut mit dem zugetretenen Gase geschüttelt werden. Dies geschieht auf folgende Weise. Der lange, Blutgefäss und Gasrohr mit einander verbindende Kautschukschlauch erlaubt, das obere Ende von *B* etwa einen halben Zoll und mehr von *G* zu entfernen, ohne die durch Ligaturen befestigten Enden des Schlauches zu verrücken. Dadurch erlangt das Blutgefäss soviel Beweglichkeit, dass ein hinreichendes Schütteln desselben möglich wird. Man fasst bei dieser Operation das Gefäss, um das Blut nicht zu erwärmen, nicht mit der Hand, sondern mit einer Schlinge aus vielfach zusammengelegtem Papiere oder einem Tuche; auch ist es gut, sich selbst beim Operiren möglichst wenig dem Gasrohre zu nähern, um eine ungleichmässige Erwärmung des Apparates möglichst zu beschränken. Ist im Rohr *G* längere Zeit hindurch kein Steigen des Quecksilbers mehr zu bemerken, so werden *B* und *G* im Verbindungsrohre in unmittelbare Berührung gebracht. Ehe man von neuem abliest, muss man den Apparat einige Minuten sich selbst überlassen, bis er seine Temperatur mit der der Umgebung wieder ausgeglichen. Man beobachtet diesen Zeitpunkt am Thermometer oder noch besser an dem constant werdenden Stande des Quecksilbers in *G*. Ist indess die Temperatur der umgebenden Luft nicht sehr niedrig, so sind die durch das Annähern des Körpers hervorgebrachten Schwankungen nicht eben erheblich.

Durch Eingiessen und Auslassen von Quecksilber kann man man den Druck des Gases beliebig ändern. Am zweckmässigsten verfährt man dabei so, dass man bei einer ersten Reihe von Beobachtungen den Druck um je etwa 50 oder 100 Millimeter steigert und dann abwärts gehend zu denselben Werthen in umgekehrter Reihenfolge zurückkehrt Die bei gleichen Drücken angestellten Beobachtungen die-

nen alsdann einander zur Controle, ob die Ausgleichung vollständig stattgefunden.

Ehe ich die auf diese Weise erhaltenen Resultate mittheile, will ich einige Versuche anführen, die zur Prüfung des Apparates dienten.

1) Atmosphärische Luft, in dem bei *c* verschlossenen Rohre *G* abgesperrt, wurde bei verschiedenen Drücken gemessen.

Vol.	Druck	°C.	Vol. bei 0° u. 1m
210,1	0,6924	24°,0	133,7
370,4	0,3920	24°,0	133,5

2) Atmosphärische Luft in Rohr und Blutgefäss; die Verbindung bei *c* hergestellt.

Vol.	Druck	°C.	Vol. bei 0° u. 1m
634,4	0,6988	23°,55	408,2
908,6	0,4882	23°,55	408,4
558,0	0,7961	23°,55	409,0
906,7	0,4893	23°,75	408,2

Bei der dritten dieser Beobachtungen war der Druck im Innern des Apparates 69,2 Millimeter Quecksilber grösser als ausserhalb. Wäre dadurch das verbindende Kautschukrohr bei *c* merklich ausgedehnt worden, so hätte die Ablesung in *G* ein kleines Volumen geben müssen; dasselbe ist aber im Gegentheil zu gross ausgefallen. Man sieht also, dass der durch etwaige Ausdehnung des Schlauches bei einem grösseren Drucke bedingte Fehler sich innerhalb der Grenzen der übrigen Beobachtungsfehler hält.

3) In das Blutgefäss *B* wurde mit Luft geschütteltes destillirtes Wasser gebracht und in der beschriebenen Weise nur 10 Minuten ausgepumpt. Im Rohr *G* wurde alsdann Kohlensäure (aus Kreide und nahezu concentrirter Schwefelsäure entwickelt) abgemessen, die Verbindung bei *c* hergestellt und *B* geschüttelt, bis in *G* kein Steigen des Quecksilbers mehr beobachtet wurde.

Wasservolumen in *B* = 250,77

Kohlensäure in *G*

Vol.	Druck	°C.	Vol. bei 0° u. 1m
683,2	0,7130	24°,6	446,9

Nach der Absorption rückständiges Gas.

Vol.	Druck	°C.	Vol. bei 0° u. 1m.
684,4	0,5278	22°,3	334,0

Dasselbe, nachdem erst bei erhöhetem Drucke einige Zeit geschüttelt, dann der frühere wieder annähernd hergestellt und bei demselben nochmals geschüttelt, ergab als Rückstand

Vol.	Druck	°C.	Vol. bei 0° u. 1m.
684,4	0,5276	22°,5	333,6

Die erste dieser Beobachtungen ergiebt den Absorptionscoëfficienten (nach Bunsenscher Methode auf 0° reducirt) für Kohlensäure und Wasser bei 22°3 C zu 0,8534, die zweite denselben bei 22°,5 zu 0,8562. Bunsen [1]) fand ihn bei 22°4 zu 0,8642. Unser Instrument erweist sich also als vollkommen brauchbar.

Absorptionsversuche mit reiner Kohlensäure.

Um die etwaige, durch die angeführten Versuche schon wahrscheinlich gewordene Abhängigkeit der Kohlensäureaufnahme vom Drucke näher zu prüfen, wurde defibrinirtes Kalbsblut auf die zuletzt beschriebene Weise mit reiner aus Kreide und fast concentrirter Schwefelsäure entwickelter, mit Wasser gewaschener Kohlensäure bei verschiedenen Drücken gesättigt.

Anfangsvolumen der CO_2 im Rohre *G*.

Vol.	Druck	°C.	Vol. bei 0° u. 1m.
851,0	0,7368	11°,6	601,5.

Volum des ausgepumpten Blutes in *B* = 336,6.

Luftleerer Raum über demselben in *B* = 373,5.

Letztere Zahl ist, um das Volumen des rückständigen Gases nach der Absorption zu erhalten, den aus der Calibrationstabelle für *G* für die einzelnen Ablesungen sich ergebenden Werthen zuzufügen. Bei den in folgender Tabelle zusammengestellten Beobachtungen ist dies bereits geschehen.

1) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. 93. S. 20.

Dieselben wurden in der in der ersten Verticalcolumne angegebenen Reihenfolge angestellt, sind hier jedoch zur bessern Uebersicht nach dem Drucke geordnet aufgeführt. Die Bedeutung der Zahlen erhellt aus den Ueberschriften.

Nach der Absorption.

No. der Beob.	t Temp.	P Druck	rückständiges Vol. bei t° u. P^m	rückständiges Vol. bei 0° u. 1^m	A aufgenommenes Vol. bei 0° u. 1^m beobachtet	A aufgenommenes Vol. bei 0° u. 1^m berechnet	Diff.	$\frac{A}{h}$ von 1 Vol. Blut aufgenommenes Vol. bei 0° u. 1^m	$\frac{A}{h}$ von 1 Vol. Blut aufgenommenes Vol. bei 0° u. 0,^m76
6	11°,4	0,3590	867,1	298,78	302,70	300,94	+1,76	0,8993	1,183
2	12°,0	0,3617	867,9	300,67	300,81	302,00	—1,19	0,8936	1,176
1	11°,9	0,3628	868,4	301,88	299,60	302,42	—2,82	0,8900	1,171
8	12°,2	0,4243	669,9	272,09	329,39	326,25	+3,14	0,9785	1,288
4	12°,2	0,4257	669,8	272,92	328,56	326,79	+1,77	0,9761	1,284
3	12°,2	0,4273	669,6	273,85	327,63	327,41	+0,22	0,9733	1,281
7	12°,0	0,4661	579,0	258,54	342,94	342,46	+0,48	1,0188	1,341
5	12°,4	0,4703	579,6	260,75	340,73	343,65	—2,92	1,0122	1,332

Die Vergleichung der aufgenommenen Volumina mit den zugehörigen Drücken ergiebt, dass mit zunehmendem Drucke zwar die aufgenommene Gasmenge steigt, jedoch bei weitem nicht in gleichem Verhältniss. Während z. B. bei der sechsten Beobachtung sich der Druck zur aufgenommenen Gasmenge nahezu wie 6 : 5 verhält, ist dies Verhältniss in der fünften etwa wie 6 : 8.

Vergleicht man aber nur die Unterschiede der Drücke und aufgenommenen Gasmengen,

nicht diese selbst mit einander, so stellt sich allerdings, innerhalb der Beobachtungsfehler, eine Proportionalität zwischen beiden Grössen heraus. Betrachtet man z. B. die Differenzen der Drücke, ΔP, und der aufgenommenen Gasmengen ΔA in den Beobachtungen No. 6, 3, 4 und 7, so erhält man folgende Zahlen:

No.	P	ΔP	A	ΔA	$\frac{\Delta A}{\Delta P}$	
6	0,3590		302,7			
		0,0683		24,9	365	im Mittel 376
		(0,0667)		(25,9)	(387)	
3	0,4273		327,6			
(4)	(0,4257)		(328,6)			
		0,0389		15,3	394	" " 374
		(0,0405)		(14,4)	(355)	
7	0,4661		342,9			
		0,1072		40,2	375	
6	0,3590		302,7			

Es zeigt sich also, dass nur ein Theil der aufgenommenen Kohlensäure dem Absorptionsgesetze folgt, während ein anderer vom Drucke unabhängig ist. Die Aufnahme des letztern lässt sich nur durch chemische Anziehung erklären. Wir müssen also annehmen, dass ausser der schon gebunden im Blute enthaltenen Kohlensäure in einer reinen Atmosphäre dieses Gases noch eine weitere Quantität chemisch gebunden wird.

Nennen wir k diese letztere von einem Volumen Blut unabhängig vom Drucke aufgenommene, mit andern Worten chemisch gebundene Menge, gemessen bei 0° und 1^{m}, bezeichnen wir ferner mit α den Coëfficienten für den mit dem Drucke variabeln Theil, und ist endlich h das absorbirende Blutvolumen und P der Druck unter dem die Aufnahme geschieht, so haben wir zur Bestimmung der beiden Unbekannten k und α die einfache Beziehung, dass die Summe der chemisch gebundenen und der eigentlich absorbirten Menge der gesammten aufgenommenen gleich ist, also:

$$kh + \alpha hP = A$$

Jede der angestellten Beobachtungen giebt uns eine Gleichung dieser Form. Um den verhältnissmässig grossen Einfluss der Beobachtungsfehler, der bei Benutzung von nur

zwei der erhaltenen Gleichungen bis zu 10 % vom Werthe der Unbekannten betragen könnte, möglichst zu eliminiren, ist es nöthig, eine grosse Zahl von Beobachtungen anzustellen und die erhaltenen Gleichungen nach der Methode der kleinsten Quadrate zu combiniren. Durch Ausführung dieser Rechnung habe ich aus den angeführten Versuchen erhalten:

$$k = 0{,}481$$
$$\alpha = 1{,}151$$

oder, wenn man die Gase nicht bei 1^{m} sondern $0,^{m}76$ gemessen denkt

$$k_1 = 0{,}632$$
$$\alpha = 1{,}151$$ [1]

Berechnet man rückwärts mit Hülfe dieser Werthe die Gasmengen, die bei den beobachteten Drücken hätten aufgenommen werden sollen, so erhält man die in der mit „berechnet" bezeichneten Verticalcolumne aufgeführten Werthe von A. Dieselben weichen von den beobachteten nicht mehr ab, als die für gleichen Druck in verschiedenen Beobachtungen erhaltenen Werthe unter einander differiren, nämlich um nicht ganz 1 %.

Beim Druck einer Atmosphäre und einer Temperatur von 11 bis 12° C. mit reiner Kohlensäure in Berührung gebracht, würden also 100 Volumina Blut 178,3 Volumina Kohlensäure aufnehmen, womit die ältern Angaben, dass das Blut etwa sein anderthalbfaches Volumen an Kohlensäure aufzunehmen vermöge, übereinstimmen. Auffallend ist, dass der so gefundene Absorptionscoëfficient des Blutes für CO_2 fast genau dem von Bunsen für reines Wasser gefundenen (bei 11° 1,1416) gleich ist. Weitere Versuche müssen entscheiden, ob dies auf mehr als blossem Zufall beruht.

Der Einfluss der Temperatur auf die im eigentlichen Sinne absorbirte Menge zeigt sich innerhalb der bei den angeführten Beobachtungen vorkommenden Temperaturschwankungen als verschwindend klein. Derselbe wird indess bei grössern Aenderungen derselben jedenfalls von Einfluss sein, so dass der für 11 bis 12° C. gefundene

---

1) Da die eigentlich absorbirte Menge dem Drucke proportional sich ändert, so bleibt der numerische Werth von α bei dieser Reduction derselbe.

Coëfficient für die Blutwärme nicht mehr gelten wird. Nachdem aber festgestellt, dass der nicht chemisch gebundene Theil der aufgenommenen Kohlensäure dem Absorptionsgesetze folge, lässt sich aus den durch Auskochen des arteriellen Blutes gewonnenen Mengen derselben der Coëfficient für die Temperatur des Blutes berechnen; es ist dies möglich, sobald der partiare Druck der Kohlensäure in einer Atmosphäre bekannt ist, deren Gase sich mit denen des kreisenden Blutes bei der in den Lungen herrschenden Temperatur ins Gleichgewicht gesetzt, zwischen der und dem Blute also kein Gasaustausch mehr stattfinden würde. Nach der interessanten Arbeit von Becher[1]) ist der Kohlensäuregehalt einer solchen Luft beim Menschen zu etwa 8 $\frac{0}{0}$ anzunehmen. Wäre die entsprechende Zahl beim Hunde von der beim Menschen nicht erheblich verschieden, so würden die 5,3 bis 6,2 aus arteriellem Blute erhaltenen Volumprocente Kohlensäure auf einen Absorptionscoëfficienten für die Temperatur des Blutes von etwa 0,66 bis 0,77 schliessen lassen. Die Richtigkeit dieses Ueberschlags muss durch weitere Versuche geprüft werden.

Zur Beantwortung der Frage, durch welchen Bestandtheil des Blutes die chemische Anziehung auf die unabhängig vom Drucke aus einer reinen Kohlensäureatmosphäre aufgenommene Quantität dieses Gases ausgeübt werde, ist die Thatsache von Wichtigkeit, dass eine Lösung von einfach kohlensaurem Natron in Berührung mit reiner Kohlensäure ganz ähnliche Absorptionserscheinungen zeigt, wie die soeben am Blute betrachteten. Ich theile hier zum Vergleiche aus einer Untersuchung dieses Gegenstandes einige Beobachtungsreihen mit. Dieselben sind mit dem Bunsenschen Absorptiometer angestellt, an dem ich nur eine kleine Aenderung angebracht habe, um eine bedeutendere, für Versuche dieser Art nothwendige Variation des Druckes möglich zu machen. Bei der ursprünglichen Einrichtung dieses Apparates[2]) erfordert nämlich eine geringe Vermehrung des Druckes eine erhebliche Quantität Quecksilber, das das Gewicht des Instruments vermehrt und das Arbeiten beschwerlich macht; ferner wird das Ablesen unmöglich, sobald das

---

1) Becher, die Kohlensäurespannung im Blute. Zürich 1855.
2) Ann. d. Chemie u. Pharm. Bd. 93. Seite 10 u. Taf. I.

Quecksilber im äussern Rohre höher als im innern steht. Ich habe deshalb den Druck durch ein graduirtes äusseres Eingussrohr regulirt. Um aber mit einem solchen den Druck über den einer Atmosphäre steigern zu können, ist es nöthig den Deckel des äussern Rohres luftdicht verschlossen zu halten. Dies würde das Oeffnen und Schliessen des innern Rohres in der bisherigen Weise unmöglich machen, weshalb dieses jetzt auf eine etwas andere Weise geschehen musste. Und zwar ist einfach folgende Einrichtung getroffen. Es wird nicht mehr das Rohr in dem verschliessenden Stuhle gedreht, sondern mittelst eines in den eisernen Fuss des Apparates hahnartig eingeschliffenen Conus, der mit kleinen Zapfen in die mit Kautschuk überzogene Bodenplatte des Stuhles eingreift, diese in einer passenden Führung auf- und abgeschroben und dadurch auf die Oeffnung des feststehenden Glasrohres luftdicht angepresst oder von derselben zurückgezogen. Der technische Entwurf zu diesen Aenderungen rührt von Herrn Universitätsmechanicus Desaga hieselbst her, unter dessen Leitung auch die Herstellung des so modificirten Apparates auf's trefflichste gelungen ist.

Um die zu Absorptionsversuchen dienenden Salzlösungen luftfrei zu machen, ohne die Kenntniss ihrer Concentration zu verlieren, verfährt man zweckmässig so, dass man das Gewicht der nach Bunsens Methode [1]) in ausgezogenen Arzneiflaschen ausgekochten Lösung vor und nach dem Auskochen durch die Wage bestimmt. Von dem Gewichtsunterschiede ist das Gewicht der durch den Wasserdampf aus der Flasche verdrängten Luft abzuziehen; der Rest giebt das verdampfte Wasser, aus dem man, wenn die Concentration der ursprünglichen Lösung bekannt war, die der zurückbleibenden finden kann.

Die mitzutheilenden Versuchsreihen lieferten nun folgende Resultate.

Reihe IX. Vor der Absorption. Aus Kreide und fast concentrirter Schwefelsäure entwickelte, mit ausgekochtem Wasser gewaschene Kohlensäure.

Vol.	Druck	°C.	Vol. bei 0° u. $0,^{m}76$
571,60	0,6320	26°,3	433,6

1) A. a. O. Seite 13.

Die zur Absorption verwandte Sodalösung enthielt in 1 Vol. soviel NaO, CO_2, dass zur Umwandlung desselben in $NaO, 2CO_2$ noch 1,0413 Vol. CO_2, gemessen bei 0° u. 0,^{m}76, erforderlich wären.
Volum. der angewandten Lösung = 100,94.

Nach der Absorption.

No. der Beob.	t Temp.	P Druck	rückständiges Volum. bei t u. P	rückständiges Volum. bei 0° u. 0,^{m}76	aufgenommenes Volum. bei 0° und 0,^{m}76 beobachtet	aufgenommenes Volum. bei 0° und 0,^{m}76 berechnet	Differenz
109	23°,6	0,5629	385,5	262,8	170,8	170,9	— 0,1
110	23,7	0,6747	306,8	250,6	183,0	183,0	0
116	23,7	0,7764	254,3	239,0	194,6	194,1	+ 0,5
111	23,7	0,7768	254,4	239,3	194,3	194,1	+ 0,2
115	23,7	0,8149	236,7	233,5	200,1	198,3	+ 1,8
113	23,7	0,8212	236,2	234,9	198,7	199,0	— 0,3
112	23,7	0,8239	236,9	236,3	197,3	199,3	— 2,0

Diese Versuche zeigen ebenso wie die zuletzt betrachteten, dass ein Theil der aufgenommenen Kohlensäure vom Drucke unabhängig, also chemisch gebunden, ein anderer dem Drucke proportional variabel, also im eigentlichen Sinne absorbirt ist. Ganz dieselbe Rechnung wie oben ergiebt in diesem Falle:

$$\alpha = 0{,}818$$
$$k = 1{,}087 \text{ bei } 0^\circ, \text{ u. } 0{,}^m76.$$

Die Uebereinstimmung letzterer Zahl mit der aus der Zusammensetzung der Lösung berechneten zur Bildung des sauern Salzes erforderlichen Kohlensäuremenge (= 1,041 Vol. bei 0° u. 0,^{m}76) ist

hinreichend gross, um die an sich wahrscheinliche Thatsache zu erweisen, dass durch Aufnahme von Kohlensäure aus dem vorhandenen einfachen doppelt kohlensaures Salz gebildet werde, dessen Lösung dann dem Drucke proportional noch Kohlensäure absorbirt.

Dasselbe geht aus folgenden Beobachtungen hervor.

Reihe VIII. Vor der Absorption.

Volumen der Kohlensäure.

Volumen	Druck	°C.	Vol. b. 0° u. 0,m76
648,8	0,7151	18°,8	571,2

Die zur Absorption verwandte Sodalösung erforderte zur Umwandlung des einfachen in doppelt kohlensaures Salz nahezu ihr gleiches Volumen, nämlich auf ein Volumen 0,998 Vol. CO_2, gemessen bei 0°, und 0,m76 [1]).

Volum. der angewandten Lösung = 74,11.

---

1) Luftfreie Lösungen von genau bestimmter Concentration erhält man einfach dadurch, dass man das ausgezogene Fläschchen bis zu einer Marke mit bekannter Lösung anfüllt, destillirtes Wasser zusetzt und wieder bis zur Marke einkocht.

Nach der Absorption.

No. der Beob.	t Temper.	P Druck	rückständiges Vol. bei t° u. P	rückständiges Vol. bei 0° u. 0,m76	aufgenommenes Vol. bei 0° und 0,m76 beobachtet	aufgenommenes Vol. bei 0° und 0,m76 berechnet	Differ.
101	23°,6	0,7248	504,5	442,9	128,3	129,8	— 1,5
98	23,6	0,7261	504,2	443,3	127,8	129,9	— 2,1
99	23,6	0,8172	439,8	435,3	135,9	137,3	— 1,4
102	23,6	0,9312	376,8	424,9	146,2	146,5	— 0,3
100	23,6	0,9332	376,5	425,5	145,7	146,7	— 1,0

Es wurde alsdann noch so viel derselben Lösung zugesetzt, dass das absorbirende Volum. im ganzen 126,3 betrug. Nach vollendeter Absorption wurden dann folgende Ablesungen erhalten:

No. der Beob.	t Temper.	P Druck	rückständiges Volum. bei t° und P	rückständiges Volum. b. 0° u. 0,m76	aufgenommenes Volum. bei 0° u. 0,m76 beobachtet	aufgenommenes Volum. bei 0° u. 0,m76 berechnet	Differenz
103	23°,55	0,6437	461,7	360,0	211,2	209,9	+ 1,3
104	23,6	0,7403	387,6	347,6	223,6	223,2	+ 0,4
105	23,6	0,8440	324,3	331,7	239,5	237,6	+ 1,9

Combinirt man diese acht Beobachtungen gleichfalls in der oben angegebenen Weise, so erhält man die Werthe:

$$\alpha = 0{,}831$$
$$k = 0{,}957 \text{ bei } 0^\circ \text{ u. } 0{,}^{m}76.$$

Die folgenden Versuchsreihen sind mit einem Gemenge von Kohlensäure und Wasserstoff angestellt.

Reihe VI. Anfangsvolumen.

	Vol.	Druck	°C.	Vol. bei 0° u. 0,m76
Wasserstoff	372,8	0,4546	16°,8	210,1
Nach Zusatz von Kohlensäure	603,5	0,6734	17°,4	502,7
Kohlensäure .	.	.	.	292,6

1 Vol. der angewandten Lösung von NaO, CO_2 verlangt zur Bildung von $NaO, 2CO_2$ 0,998 Vol. CO_2, gemessen bei 0° und 0,m76.

Volum. der Lösung = 41,08.

Nach der Absorption.

No. der Beob.	t Temp.	P Druck	rückständiges Volum. bei t° u. P	rückständiges Volum. bei 0° u. 0,m76	aufgenommenes Vol. bei 0° u. 0,m76 beobachtet	aufgenommenes Vol. bei 0° u. 0,m76 berechnet	darin: Wasserstoff	darin: Kohlensäure absorb.	darin: Kohlensäure gebunden
79	23,6	0,6521	564,2	446,7	56,0	56,51	0,35	15,86	40,30
80	23,6	0,6555	560,9	445,3	57,4	56,58	0,35	15,93	40,30
71	23,5	0,7528	486,9	444,1	58,6	58,96	0,40	18,26	40,30
72	23,6	0,7549	486,1	444,4	58,3	59,02	0,40	18,32	40,30
70	23,6	0,7561	485,6	444,6	58,1	59,07	0,41	18,36	40,30
77	23,6	0,8187	445,4	441,6	61,1	60,50	0,44	19,76	40,30
78	23,6	0,8195	445,0	441,6	61,1	60,52	0,44	19,78	40,30
75	23,6	0,9225	392,8	438,9	63,8	62,89	0,50	22,09	40,30
76	23,6	0,9252	391,8	439,0	63,7	63,02	0,50	22,22	40,30
73	23,55	1,0243	352,6	437,5	65,2	65,38	0,56	24,52	40,30
74	23,6	1,0291	351,4	438,0	64,7	65,52	0,56	24,66	40,30
Nach neuem Zusatz von Lösung: Volum. derselben = 100,61.									
81	23,6	0,7236	419,7	367,8	134,9	134,99	1,14	35,16	98,69
82	23,6	0,7237	419,5	367,7	135,0	134,98	1,14	35,15	98,69

Durch Benutzung der Relation, dass das aufgenommene Gas besteht aus dem absorbirten Wasserstoff, der absorbirten und der etwa gebundenen Kohlensäure, erhält man aus jeder Beobachtung eine Gleichung mit drei Unbekannten. Auf diese lässt sich aber die bisher gebrauchte Methode der Combi-

nation nicht mehr anwenden, da der Einfluss der Beobachtungsfehler ein zu grosser wird. Wir müssen daher einen mehr indirecten Weg einschlagen. Die Concentration der angewandten Sodalösung ist eine so geringe, dass die Annahme zulässig erscheint, der ohnehin kleine Coëfficient für Wasserstoff werde durch den unbedeutenden Salzgehalt nicht merklich geändert. Diese Annahme rechtfertigt sich, ausser durch das Resultat der gleich anzustellenden Rechnung, noch durch das analoge Ergebniss einer noch nicht publicirten von Herrn Dr. Carius mit Seewasser angestellten Reihe von Absorptionsversuchen. Nehmen wir demnach den Absorptionscoëfficienten für Wasserstoff gleich dem von Bunsen für reines Wasser für dieselbe Temperatur gefundenen, also = 0,0194 auf 0° oder = 0,0210 auf 23°,6 reducirt [1]), so bleiben nur noch zwei Unbekannte, die oben mit α und k bezeichneten Grössen, übrig. Zur Bestimmung derselben genügt wiederum die Beziehung, dass die Summe der chemisch gebundenen und der im eigentlichen Sinne absorbirten Kohlensäure, die gesammte aufgenommene Menge ausmacht, dass also

$$h \cdot \left(k + \frac{p'}{0{,}76}\,\alpha\right) = A'$$

wenn p′ den partiaren Druck der nach vollendeter Absorption rückständigen freien Kohlensäure und A′ das von der Flüssigkeit aufgenommene Volum. dieses Gases, gemessen bei 0° und 0,m76 bedeutet. Diese Grössen p′ und A′ sind nicht unmittelbar gegeben; sie lassen sich jedoch unter der gemachten Voraussetzung, dass der Absorptionscoëfficient für Wasserstoff bekannt sei, aus den Beobachtungen ableiten. Bezeichnet β diesen letztern Coëfficienten, R das gesammte nach der Absorption beim Druck P und der Temperatur t rückständige Gasvolumen, ferner h das absorbirende Flüssigkeitsvolumen, und endlich H das Volumen der ganzen zum Versuch verwandten Wasserstoffquantität, gemessen bei der Einheit des Druckes und der Temperatur t, so ist das Volum. dieses Wasserstoffs nach der Absorption $R + \beta h$ und sein partiarer Druck:

1) Vergl. Bunsen's Definition des Absorptionscoëfficienten. Ann. d. Chemie u. Pharm. Bd. 93. S. 1.

$$p'' = \frac{H}{R + \beta h}$$

wie sich aus dem Satze ergiebt, dass das Volumen der Gase dem Drucke umgekehrt proportional ist. Da aber die Summe der partiaren Drücke gleich dem Gesammtdruck, also

$$p' + p'' = P$$

so folgt:

$$p' = P - \frac{H}{R + \beta h}$$

Wir kennen also jetzt Volumen, R, Druck, p, und Temperatur, t, der rückständigen Kohlensäure, also auch ihre Quantität. Die Differenz dieser und der ganzen angewandten Menge giebt die aufgenommene A′. Auf diese Weise ist die folgende Tabelle berechnet.

No. der Beob.	t Temperatur	R rückst. Vol. bei P u. t	$R + \beta h$	P Gesammtdruck	p'' part. Druck des H	p' part. Druck der CO_2	A' aufgenommene CO_2 bei 0° und $0,^m76$
79	23,6	564,2	565,1	0,6521	0,3069	0,3452	56,7
80	23,6	560,9	561,8	0,6555	0,3087	0,3468	57,1
71	23,5	486,9	487,8	0,7528	0,3555	0,3973	58,2
72	23,6	486,1	486,9	0,7549	0,3562	0,3987	57,9
70	23,6	485,6	486,4	0,7561	0,3566	0,3995	57,7
77	23,6	445,4	446,2	0,8187	0,3887	0,4300	60,6
78	23,6	445,0	445,8	0,8195	0,3890	0,4305	60,7
75	23,6	392,8	393,7	0,9225	0,4406	0,4819	63,4
76	23,6	391,8	392,6	0,9252	0,4417	0,4835	63,2
73	23,55	352,6	353,5	1,0242	0,4906	0,5336	64,7
74	23,6	351,4	352,2	1,0291	0,4924	0,5367	64,2
81	23,6	419,7	421,8	0,7236	0,4112	0,3124	133,8
82	23,6	419,5	421,6	0,7237	0,4114	0,4123	133,9

Durch Einsetzen dieser Werthe und Combination der dreizehn Gleichungen von der Form:

$$h \,.\, k + \frac{p'}{0,76} \,.\, h \,.\, \alpha = A'$$

ergiebt sich:

$$\alpha = 0,850$$
$$k = 0,981 \quad . \quad . \quad \text{bei } 0^\circ \text{ u. } 0,^m76.$$

Die Uebereinstimmung der aus diesen verschiedenen Versuchsreihen berechneten Werthe von α ist eine so grosse, wie sie bei der gleichzeitigen Bestimmung zweier Unbekannten nur erwartet werden kann. Der Absorptionscoëfficient α der angewandten sehr verdünnten Sodalösung ist nicht erheblich von dem des reinen Wassers für Kohlensäure verschieden. Letzteren fand nämlich Bunsen bei 19,1 zu 0,8963, bei 22°,4 zu 0,8642. Die für die chemisch gebundene Constante k gefundenen Werthe stimmen sehr nahe mit den aus der Zusammensetzung der Lösung berechneten, zur Bildung von $NaO, 2CO_2$ erforderlichen Mengen überein, so dass die Bildung des letztern Salzes als erwiesen anzusehen ist. Die Gegenwart des Wasserstoffgases in den zuletzt angeführten Versuchen hindert seine Entstehung nicht. Ob ein Gleiches von der atmosphärischen Luft gilt, lässt sich mit dem Absorptiometer nicht entscheiden, da bekanntlich der Sauerstoff auf die nie ganz zu beseitigenden Unreinigkeiten des Quecksilbers oxydirend einwirkt.

Es ist bekannt, dass das doppelt kohlensaure Natron in Lösung beim Stehen an der Luft oder beim Schütteln mit andern Gasen einen Theil seiner Kohlensäure verliert. Um die Grenze seiner Beständigkeit zu finden, wurden die folgenden Versuche derart angestellt, dass die gesammte vorhandene Kohlensäuremenge nicht vollständig zur Umwandlung der angewandten Soda in Bicarbonat genügte.

Reihe VII. Anfangsvolumen.

	Vol.	Druck	°C.	Vol. b. 0° u. 0,m76
Wasserstoff	490,8	0,5693	20,7	341,8
Nach Zusatz von Kohlensäure	625,9	0,6932	21,85	528,7
Kohlensäure				186,9

Die zur Absorption verwandte Lösung von NaO, CO_2 erforderte zur Bildung von $NaO, 2CO_2$ gerade ihr gleiches Volumen an Kohlensäure, gemessen bei 0° u. 0,m76.

Volum. der Lösung = 195,9.

Nach der Absorption.

No. der Beobachtung	t Temperatur	P Druck	rückständiges Volumen bei t° u. P	rückständiges Volumen bei 0° u. 0,m76	aufgen. Vol. bei 0° u. 0,m76	Wasserstoff bei t° und P
89	23,6	0,6915	408,1	341,8	186,9	408,1
90	23,6	0,6919	407,9	341,9	186,8	407,8
91	23,6	0,8127	346,1	340,7	188,0	347,2
93	23,6	0,8135	346,1	341,1	187,6	346,9
92	23,7	0,8142	346,1	341,2	187,5	346,6
95	23,7	0,8994	312,5	340,3	188,4	313,8
94	23,65	0,9005	312,5	340,8	187,9	313,4
97	23,7	1,0193	275,3	339,8	188,9	276,9
96	23,7	1,0194	275,3	339,9	188,8	276,8

Würde bei diesen Versuchen die ganze vorhandene Kohlensäure zur Bildung von Bicarbonat verwandt, so müsste das beobachtete rückständige Gasvolum. nur aus Wasserstoff bestehen. Berechnet man aber das Volum., das der angewandte Wasserstoff bei dem Drucke P und der Temperatur t, unter denen das rückständige Gasvolumen beobachtet wurde, einnehmen müsste, so erhält man die in der letzten Verticalcolumne vorstehender Tabelle verzeichneten Werthe. Dieselben übertreffen das beobachtete rückständige Volumen entweder gar nicht, oder doch so wenig, dass die absorbirte Menge Wasserstoff viel zu gering aus ihnen sich ergeben würde. Wir müssen demnach schliessen, dass im rückständigen Gase auch noch etwas Kohlensäure enthalten sei. Berechnet man wieder wie oben unter der Voraussetzung, dass der Absorptionscoëfficient für Wasserstoff bekannt sei, den partiaren Druck dieses Gases und den der Kohlensäure, so gelangt man zu folgenden Zahlen.

No. der Beob.	t Temp.	R rückst. Vol. bei t° u. P	R + βh	P Gesammtdruck	p'' partiarer Druck des H	p' partiarer Druck der CO_2	$\frac{p'}{P}$ CO_2gehalt des freien Gases
89	23,6	408,1	412,2	0,6915	0,6846	0,0069	1,01 %
90	23,6	407,9	412,0	0,6919	0,6848	0,0071	1,04 „
91	23,6	346,1	350,2	0,8127	0,8057	0,0070	0,87 „
93	23,6	346,1	350,2	0,8135	0,8057	0,0078	0,97 „
92	23,7	346,1	350,2	0,8142	0,8059	0,0083	1,03 „
95	23,7	312,5	316,6	0,8994	0,8916	0,0078	0,87 „
94	23,65	312,5	316,6	0,9005	0,8915	0,0090	1,01 „
97	23,7	275,3	279,5	1,0193	1,0101	0,0092	0,91 „
96	23,7	275,3	279,4	1,0194	1,0101	0,0093	0,92 „
							Mittel 0,96 %

Während es a priori wahrscheinlich sein könnte, dass die Aufnahme der CO_2 bei einer bestimmten, constanten Grösse des partiaren Druckes aufhörte, scheinen diese Zahlen zu zeigen, dass der partiare Druck der Kohlensäure mit dem Gesammtdruck variirt, und zwar, so weit sich übersehen lässt, demselben proportional. Dies hiesse mit andern Worten: die Zusammensetzung des freien, über der Lösung stehenden Gases ist constant; dasselbe enthält im Mittel aus den einzelnen Beobachtungen 0,96 % Kohlensäure. Diese Zahl wurde durch eine Analyse des Gasrückstandes innerhalb der Beobachtungsfehler bestätigt; dieselbe ergab nämlich

Absorptionsrohr *A*	Volumen	Druck	°C.	Vol. bei 0° u. 1m
Anfangsvolumen	116,7	0,7012	19°,5	76,4
Nach Absorption der Kohlensäure	114,5	0,7086	19°,2	75,8
Kohlensäure				0,6

Eudiometer *C*	Vol.	Druck	°C.	Vol. b. 0° u. 1m
Anfangsvolum.	150,8	0,3022	19°,4	42,6
Nach Zusatz von Luft	455,7	0,5899	19°,6	250,8
Nach der Explosion	384,4	0,5214	18°,0	188,0
Contraction				62,8
Verbrannter Wasserstoff				41,9

Dieser Analyse zufolge enthielt also das nach der Absorption bei etwa 1m Druck rückständige Gas 0,79 % Kohlensäure, welche Zahl von der aus den Beobachtungen No. 96 und 97 berechneten 0,91 % nicht bedeutender abweicht, als bei der geringen absoluten Menge der vorhandenen Kohlensäure zu erwarten war. Die Versuche zeigen also in Uebereinstimmung, dass eine verdünnte Lösung von NaO, CO_2 aus einem CO_2 enthaltenden Gasgemenge bei der Temperatur unserer angeführten Beobachtungen nur so lange CO_2 zur Bildung von NaO, $2CO_2$ aufzunehmen vermag, bis das rückständige Gas nur noch etwa 1 % CO_2 enthält. Ist dieser Zustand eingetreten, so hält die Tension der CO_2 der auf sie vom NaO, CO_2 geübten Anziehung das Gleichgewicht, so dass keine weitere Aufnahme stattfindet. Umgekehrt wird aber eine Lösung von doppelt kohlensaurem Natron an eine kohlensäurefreie Atmosphäre so lange Kohlensäure abgeben, bis der Gehalt derselben an diesem Gase etwa 1 % beträgt, bei welchem Punkte wiederum Gleichgewicht eintritt und der Kohlensäureverlust aufhört.

Die angeführten Versuche zeigen uns grosse Aehnlichkeit zwischen dem Verhalten des Blutes gegen Kohlensäure und dem einer Lösung von einfach kohlensaurem Natron. Beide nehmen aus einer Atmosphäre dieses Gases eine Quantität auf, die sich zusammensetzt aus einer chemisch gebundenen und einer im eigentlichen Sinne absorbirten Menge. Die zuletzt angeführte Versuchsreihe (VII) lässt indess schliessen, dass das Verhalten beider Flüssigkeiten

kein ganz analoges sei. Wenn auch im Blute die Bildung von doppelt kohlensaurem Salze erst aufhörte in Berührung mit einer Atmosphäre, die nicht mehr als 1 % Kohlensäure enthielte, so müsste das kreisende Blut, und zwar sowohl venöses als arterielles, fortwährend $NaO, 2CO_2$ enthalten. Unter dem partiaren Druck der CO_2 in den Lungen würde eine freiwillige Zersetzung des einmal gebildeten Salzes nicht stattfinden. Das arterielle Blut scheint aber gar kein doppelt kohlensaures Salz zu enthalten. Wir haben im ersten Theile dieser Arbeit gesehen, dass dasselbe beim Auskochen im luftverdünnten Raume rasch (innerhalb der ersten halben Stunde) 5 bis 6 Volumprocente Kohlensäure abgiebt. Diese Menge entspricht aber sehr gut derjenigen, die wir beim Kohlensäuredruck in den Lungen und der Tempera tur des Blutes als absorbirt ansehen müssen. Weiteres dreistündiges Kochen (Versuch vom 12ten Febr.) ergiebt keine messbare Kohlensäureentwickelung, woraus wir schliessen müssen, dass die jetzt noch im Blute enthaltene Kohlensäure in einfachem oder mindestens anderthalbfachem Salz in demselben vorkomme. Es verliert nämlich, wie bekannt, das Bicarbonat schon beim Stehen an der Luft, noch mehr aber durch Kochen sehr bald ein halbes Atom Kohlensäure und geht endlich, wiewohl langsamer, in einfaches Carbonat über. In Uebereinstimmung mit den von H. Rose u. Becher erhaltenen Resultaten zeigt dies auch folgender Versuch.

Durch Einleiten von CO_2 in eine concentrirte Lösung von NaO, CO_2 krystallinisch dargestelltes $NaO, 2CO_2$ wurde von der Mutterlauge getrennt und wieder in Wasser gelöst, die Lösung in andauerndem Kochen erhalten, während mittelst eines passend angebrachten Hebers das verdampfte Wasser fortwährend durch neu zufliessendes ersetzt wurde. Nach zweistündigem Kochen wurden mit einer kleinen Flasche mit eingeriebenem Stöpsel zwei gleiche Quantitäten der Lösung abgemessen; die eine im Platintiegel auf dem Wasserbade eingedampft, der Rückstand bis zum Zusammensintern über der Lampe vorsichtig erhitzt, und als NaO, CO_2 in Rechnung gebracht; in der andern nach der gewöhnlichen Will'schen Methode die Kohlensäure bestimmt.

11,585 CC. Lösung gaben so 0,3339 grm NaO, CO_2 u. 0,1689 grm. CO_2. Dies entspricht im trockenen Salze:

NaO	53,62
CO_2	46,38
	100,00

Auf dieselbe Weise wurden aus einer gleichen Quantität Lösung nach fünfstündigem Kochen 0,3480 grm NaO, CO_2 und 0,1640 grm CO_2 erhalten, oder, auf 100 Theile des trockenen Salzes berechnet

NaO . . .	55,38
CO_2 . . .	44,62
	100,00

Diese Zahlen liegen zwischen den für das anderthalb- und einfach saure Salz geltenden. Es enthalten nämlich in 100 Theilen

NaO, CO_2	NaO	58,49
	CO_2	41,51
$2NaO, 3CO_2$	NaO	48,44
	CO_2	51,56
$NaO, 2CO_2$	NaO	41,33
	CO_2	58,67

Diesem Verhalten des Bicarbonats gemäss müssen wir annehmen, dass die bei den angeführten quantitativen Bestimmungen der Blutgase als gebunden gefundene Kohlensäure in anderthalb oder einfach saurem Salze vorkomme. Es müssen also, da die Luft in den Lungenbläschen etwa 8 $\frac{0}{0}$ Kohlensäure enthält, das Bicarbonat aber schon in einer nur ein Procent Kohlensäure enthaltenden Luft sich nicht mehr zersetzt (Versuchsreihe VII), im Blute selbst Umstände vorhanden sein, die die Bildung dieser Verbindung für gewöhnlich hindern. Daraus würde jedoch nicht folgen, dass auch in einer reinen Kohlensäureatmosphäre dieselbe nicht im Blute entstehen könnte. Nimmt man aber auch an, in einer solchen werde das vorhandene einfach oder anderthalbfach saure Salz durch Kohlensäureaufnahme in doppelt saures verwandelt, so wird dadurch nur die Aufnahme von höchstens noch so viel Kohlensäure erklärt, als im Blute schon gebunden vorhanden ist. Die Absorptionsversuche ergeben aber die chemisch gebundene Menge (k) bedeutend grösser.

Folgende mit dem Blute eines jungen Rindes angestelle Versuchsreihe zeigt dies deutlich.

Anfangsvolumen der Kohlensäure im Rohre *G*.

Volumen	Druck	°C.	Vol. bei 0° u. 1^m.
749,7	0,7919	11°,9	568,9

Volum. des ausgepumpten Blutes in *B* = 227,50.

Nach der Absorption.

No. der Beob.	t Temp.	P Druck	rückständiges Vol. bei t° u. P^m	rückständiges Vol. bei 0° u. 1^m	A bei 0° u. 1^m	P . αh berechnet	k . h geb. CO_2 b. 0° u. 1^m	k von 1 Vol. Blut geb. CO_2 bei 0° u. 1^m	k von 1 Vol. Blut geb. CO_2 b. 0° u. $0,^m76$
10	12,2	0,5135	660,3	324,59	244,32	134,46	109,89	0,4829	0,6354
11	12,1	0,7323	383,5	268,94	299,97	191,73	108,24	0,4758	0,6261
12	12,2	0,7320	383,5	268,76	300,15	191,67	108,48	0,4768	0,6274
							im Mittel	0,4785	0,6296

Berechnet man mittelst des aus der oben angeführten Versuchsreihe erhaltenen Werthes des Coefficienten α = 1,151 die bei 0° u. 1^m gemessenen Gasmengen, die unter den bei den vorstehenden Versuchen 10, 11 und 12 beobachteten Drücken eigentlich absorbirt werden, so erhält man die in der mit P . αh bezeichneten Columne aufgeführten Werthe; alles mehr aufgenommene ist chemisch gebunden, und man sieht in der That, dass die so gefundene mit kh bezeichnete Menge innerhalb der Beobachtungsfehler bei wechselndem Drucke constant bleibt. Berechnet man dieselbe endlich auf ein Volumen Blut, so erhält man die Werthe k der letzten Columne, deren Uebereinstimmung mit den aus den Versuchen No. 1 bis 8 berechneten über Erwarten gross ist.

Aus einem andern Theile desselben Blutes wurden auf die in der ersten Abtheilung dieser Arbeit beschriebene Weise die Gase gewonnen und analysirt; 46,55 CC. ergaben an gebundener Kohlensäure:

Vol.	Druck	°C.	Vol. bei 0° u. 0,m76
19,67 CC.	0,6388	13,7	15,74

Ein Volumen des zu den Absorptionsversuchen No. 10, 11 u. 12 verwandten Blutes enthielt also schon an gebundener Kohlensäure:

0,3382 Vol. gemessen bei 0°, u. 0,m76

und nahm noch auf:

0,6296 Vol. „ „ „

Es wurde also noch nahezu doppelt so viel CO_2 gebunden, als das Blut in Berührung mit der Atmosphäre zu binden vermag. Es kann demnach höchstens die Hälfte der neu aufgenommenen Menge zur Umwandlung von NaO, CO_2 in $NaO, 2CO_2$ gedient haben, mindestens der Rest und vielleicht mehr wird also durch eine von anderen Bestandtheilen des Blutes geübte Anziehung zurückgehalten, und zwar wahrscheinlich, wie schon oft angenommen worden, von phosphorsaurem Alkali. Von diesem, wie von kohlensaurem Natron giebt Fernet in einem zweiten Abdruck [1]) seiner Abhandlung, im Augustheft der Annales de chimie et de physique dieses Jahres an, dass die von den Lösungen dieser Salze aufgenommenen Kohlensäuremengen, nach den von ihm gefundenen Zahlen, sich scheinen ableiten zu lassen aus dem Absorptionscoëfficienten für reines Wasser, wenn man der aus diesem berechneten Menge noch das Product eines constanten Coëfficienten und des Salzgehaltes der Lösung hinzufügt. Er giebt diesen auf den Titre seiner Lösungen bezüglichen constanten Coëfficienten für phosphorsaures Natron zu 0,069 und für das kohlensaure zu 0,088 an, ohne indess zu sagen, auf welche Einheit diese Zahlen zu beziehen sind.

---

1) Es ist eine kleine Ungenauigkeit, wenn dieser Abdruck das Datum der ersten Mittheilung an die Akademie trägt, die die jetzt gegebenen Resultate noch nicht enthielt. Vergl. Comptes rendus Bd. XLI. No. 27.

Der Entscheid der ganzen Frage, durch welchen Bestandtheil des Blutes die aus einer Atmosphäre reiner Kohlensäure unabhängig vom Drucke aufgenommene Menge dieses Gases zurückgehalten werde, dürfte übrigens von untergeordneter Wichtigkeit sein, da für die Aufnahme einer solchen Quantität im Organismus die Bedingungen schwerlich irgendwo gegeben sind.

Absorptionsversuche mit Sauerstoff.

Mittelst des oben beschriebenen, für Versuche mit Blut bestimmten Absorptiometers habe ich gleichfalls die Abhängigkeit der Sauerstoffaufnahme vom Drucke der Prüfung unterworfen. Das Verfahren ist ganz das nämliche wie bei den Versuchen mit Kohlensäure. Der Sauerstoff wurde aus chlorsaurem Kali in kleinen Retorten entwickelt, wie sie bei der Gasanalyse üblich sind. Ich steckte die Mündung derselben, nachdem die Luft ausgetrieben, unmittelbar in den zuleitenden Kautschuckschlauch *b*. Fig. 2. und liess ganz in der oben beschriebenen Weise das Quecksilber in dem Maasse aus *a* ausfliessen, als durch *b* Gas nachtrat.

Defibrinirtes Kalbsblut wurde eine halbe Stunde lang unter der Luftpumpe in der beschriebenen Weise ausgekocht. Der zum Versuch verwandte Rückstand betrug 216,3 Vol.

Die Ablesungen am Absorptiometer ergaben:

Beob. No.	t Temp.	P Druck	rückständiges Vol. bei t^o u. P^m	rückständiges Vol. bei 0° u. $0,^m76$	aufgen. Vol. bei 0° u. $0,^m76$	von 1 Vol. Blut aufgen. Volum. bei 0° u. $0,^m76$
Anf.-Vol.	21,3	0,7130	663,4	577,3	—	—
3	21,5	0,5872	777,8	557,1	20,2	0,093
7	21,2	0,5872	777,4	557,4	19,9	0,092
2	21,7	0,6323	723,3	557,5	19,8	0,092
8	21,1	0,6360	717,5	557,4	19,9	0,092
1	21,5	0,6852	666,8	557,3	20,0	0,092
4	21,7	0,6856	666,7	557,2	20,1	0,093
5	21,4	0,7932	575,7	557,2	20,1	0,093
6	21,2	0,8357	545,5	556,7	20,6	0,095

Diese Beobachtungen zeigen, dass die vom Blute aufgenommene Menge Sauerstoff nur innerhalb der Fehler der Beobachtung variirt, mag der Druck des freien Gases auch sehr erheblichen Schwankungen unterworfen werden. Bei weitem der grösste Theil des aufgenommenen Sauerstoffs ist also nicht eigentlich absorbirt im Blute vorhanden, eine Thatsache, die verschiedene Forscher, u. a. Gay-Lussac, der grossen Menge des verschluckten Gases wegen, schon für wahrscheinlich gehalten haben. Der Sauerstoff muss also durch chemische Anziehung von einem der Blutbestandtheile zurückgehalten werden, die aber so schwach ist, dass sie bei vollständiger Aufhebung des Druckes von der Tension des Gases überwunden wird. Es ist dies eine ganz ähnliche Erscheinung, wie die von Roscoe [1]) für

1) Annal. der Chem. u. Pharm. Bd. 95.

Chlor und Wasser beobachtete. Auch von diesem Gase wird ein Theil unabhängig vom Drucke vom Wasser zurückgehalten, während ein anderer mit dem Drucke variabel ist. Hängt aber die Sauerstoffaufnahme von einem der im Blute gelösten Bestandtheile ab, so muss dieselbe mit der Concentration des Blutes abnehmen. Dies ist in der That der Fall, wie folgende Versuchsreihe zeigt.

In das Blutgefäss *B* wurden 290,51 Volumina Wasser gefüllt, und alsdann Blut zugesetzt, bis das Vol. der Mischung 566,87 betrug. Es waren also 276,36 Vol. Blut zugefügt worden. Nach dem Auspumpen, bei dem sehr wenig Schaum in den zwischengelegten Kugelröhren hängen blieb, betrug das Vol. der Mischung 548,81 und enthielt also, wenn wir die geringe im Schaum enthaltene Blutmenge vernachlässigen, 276,36 Vol. Blut und 272,45 Vol. Wasser.

Die Absorptionsversuche mit dieser Mischung ergaben:

No. der Beobachtung	t Temp.	P Druck	rückständiges Volum. bei t° u. P^m	rückständiges Volum. bei 0° u. 0,^{m}76	aufgenomm. Volum. bei 0° u. 0,^{m}76 beobachtet	dasselbe berechnet
Anf.-Vol.	19°,9	0,7064	656,4	571,4	—	—
12	20,9	0,5919	744,3	538,4	33,0	32,88
13	20,9	0,5922	744,5	538,8	32,6	32,88
10	21,0	0,6592	667,1	537,3	34,1	33,75
11	20,9	0,6593	667,1	537,6	33,8	33,75
17	20,5	0,7238	605,5	536,4	35,0	34,59
14	21,0	0,7245	606,3	536,8	34,6	34,61
9	20,8	0,7248	606,3	537,3	34,1	34,61
15	20,6	0,8125	538,9	535,8	35,6	35,88
16	20,7	0,9008	485,1	534,5	36,9	36,90

Die aufgenommenen Gasmengen sind, wie zu erwarten war, erheblich kleiner geworden, erweisen sich aber jetzt deutlich als abhängig vom Drucke. Berechnet man in derselben Weise, wie bei den früher betrachteten Versuchen mit Kohlensäure, den vom Druck abhängigen und den unabhängigen Theil, so ergiebt sich, dass:

die 548,81 Vol. Mischung chemisch binden

$kh = 25{,}18$ Vol. O gemessen bei 0° u. $0{,}^{m}76$

und bei $0{,}^{m}76$ Druck absorbiren würden:

$\alpha h = 9{,}88$ Vol. O, gemessen bei 0° u. $0{,}^{m}76$

1 Vol. Mischung bindet:

$k = 0{,}0459$ Vol. bei 0° u. $0{,}^{m}76$

absorbirt:

$\alpha = 0{,}0180$ „ „ „

Mittelst dieser Werthe von α u. k ist rückwärts die letzte Verticalcolumne vorstehender Tabelle berechnet. Berechnet man die unabhängig vom Drucke aufgenommene Menge auf das angewandte Blut allein, so ergiebt sich, dass

1 Vol. Blut chemisch bindet:

0,0911 Vol. O, gemessen bei 0° u. 0,°76,

welche Zahl nahezu mit der bei der vorigen Versuchsreihe gefundenen von 1 Volum. Blut aufgenommenen Gasmenge übereinstimmt.

Mittelst des von Bunsen für Sauerstoff u. Wasser gefundenen Absorptionscoëfficienten berechnet, ergiebt sich, dass bei 21° u. $0{,}^{m}76$ Druck die in der Mischung vorhandene Quantität Wasser von 272,45 Vol. für sich in Berührung mit Sauerstoff absorbiren würden:

7,69 Vol. gemessen bei 0° u. $0{,}^{m}76$

also fast so viel als von der gesammten Mischung eigentlich absorbirt wurden. Hieraus würde sich ergeben, wenn ein einzelner Versuch so etwas zu beweisen im Stande wäre, dass über eine gewisse Concentration hinaus zugesetztes Wasser die absolute Menge aufgenommenen Sauerstoffs um etwa so viel vermehrte, als es für sich allein absorbiren würde, während das Blut gleichfalls soviel Sauerstoff aufnähme, als es ohne Wasser-Zusatz gethan haben würde. Jedenfalls aber zeigt der Versuch, dass mit dem Wässrigwerden des Blutes seine Fähigkeit Sauerstoff aufzunehmen abnimmt. Es erklärt sich hieraus, warum nach Blutverlusten und andern die Concentration des Blutes ändernden Einflüssen, auch bei hinreichend zugeführtem Nah-

rungsmaterial, der Organismus so lange Zeit braucht, seine Lebensthätigkeit wieder auf die normale Höhe zu heben. Mit dem verlorenen Blute ist auch das in demselben gelöste Vehikel für den Träger des Lebens, den Sauerstoff, verloren gegangen, zu dessen Neubildung aber wahrscheinlich wiederum der Sauerstoff selbst erforderlich ist.

Die erste der angeführten Versuchsreihen lässt eine geringe Aenderung der Sauerstoffaufnahme mit variirendem Drucke als wahrscheinlich erscheinen. Zur Entscheidung dieser Frage habe ich die folgende Versuchsreihe gleichfalls mit defibrinirtem Kalbsblut angestellt. Nachdem einige Ablesungen gemacht, wurde bei erheblich verändertem Drucke abgelesen, ohne dass das Blut vorher mit dem Gase geschüttelt worden. Wurde es alsdann geschüttelt, so machte sich seine etwaige Ab- oder Zunahme des Volums leicht bemerklich. In der That zeigte sich, dass durch das Schütteln die absorbirte Quantität im Sinne des Druckes etwas geändert wurde.

In der folgenden Tabelle sind die Versuche nicht wie bisher nach aufsteigendem Drucke, sondern nach der Reihenfolge geordnet, in der sie angestellt worden. Die eingeklammerten Zahlen gehören den ohne vorhergegangenes Schütteln erhaltenen Ablesungen an; diese stimmen je mit der vorhergehenden überein, während die folgende, bei der die dem herrschenden Drucke entsprechende Quantität absorbirt worden, jedesmal deutliche Abweichungen zeigt.

Das nach 35′ langem Auskochen mittelst der Luftpumpe zurückbleibende Blut betrug 214,8 Vol. Es zeigte in dünnen, die Wand benetzenden Schichten einen Stich ins Grünliche, war also gewiss sauerstofffrei.

No. der Beobachtung	t Temp.	P Druck	rückständiges (resp. Anf.-) Vol. bei t° u. P^m	bei 0° u. 0,^{m}76	aufgen. Vol. bei 0° u. 0,^{m}76	von 1 Vol. Blut aufgen. Vol. bei 0° u. 0,^{m}76
Anf.-Vol.	18,6	0,6669	476,7	391,6	—	
	18,4	0,6666	476,4	391,4	—	
			im Mittel	391,5		
17	18,3	0,7286	389,9	350,3	41,2	0,192
18	18,6	0,7283	389,9	349,9	41,6	0,194
19	19,0	0,5975	476,0	349,9	41,7	0,194
20	18,8	0,5973	475,8	349,9	41,7	0,194
21	18,7	0,4558	625,0	350,8	40,8	0,190
22	18,6	0,4554	625,0	350,8	40,8	0,190
(23)	(18,7)	(0,5991)	(475,7)	(351,0)	(40,6)	(0,189)
24	18,7	0,5975	475,0	349,5	42,0	0,196
(25)	(18,5)	(0,7287)	(389,5)	(349,8)	(41,8)	(0,195)
26	18,5	0,7272	388,7	348,3	43,3	0,202
(27)	(18,6)	(0,4514)	(625,0)	(347,6)	(44,0)	(0,205)
28	18,5	0,4539	625,9	350,1	41,5	0,193
(29)	(18,5)	(0,7296)	(389,5)	(350,2)	(41,3)	(0,192)
30	18,3	0,7267	388,1	347,8	43,8	0,204

Diese Versuche zeigen deutlich, dass die aufgenommene Sauerstoffmenge etwas mit dem Drucke variabel ist. Dieser variable, eigentlich absorbirte Theil ist indess so klein im Verhältniss zu den Beobachtungsfehlern, dass seine Berechnung aus den vorliegenden Versuchen nicht wohl möglich ist.

Die Abweichungen dieser von den vorigen Versuchsreihen sind ferner viel zu erheblich, als dass auf die absoluten erhaltenen Werthe viel Gewicht zu legen wäre. Der Unterschied von 9 zu 20 Volumprocenten kann nicht wohl durch verschiedene Zusammensetzung des Blutes oder durch eine verschiedene Concentrationsänderung durch das Auspumpen bedingt worden sein, er muss wenigstens zum Theil Versuchsfehlern zur Last fallen, die hier einen weit grössern Einfluss gewinnen, als sie auf die weit erheblichern, mindestens sechsmal so grossen vom Blute aufgenommenen Kohlensäuremengen auszuüben vermochten. Es ist dabei zu erwägen, dass die Fehler (nicht vollständiges Auspumpen, Wiedereindringen von Luft in das luftleere Blutgefäss etc.) so klein sie auch im einzelnen sind, doch leicht, weil sie fast alle im selben Sinne wirken, das rückständige Gasvolumen zu gross, das aufgenommene also zu klein erscheinen zu lassen. Da aber der Einfluss dieser Fehler sich gleichmässig auf alle Beobachtungen des nach vollendeter Absorption rückständigen Gasvolums vertheilt, so bleibt durch sie die gefundene Thatsache unangetastet, dass die Sauerstoffaufnahme im Blute nur zum geringsten Theile vom Drucke dieses Gases, unter dem es mit dem Blute in Berührung kommt, abhängt; dass dieselbe vielmehr durch eine, wenngleich schwache chemische Attraction bewirkt wird; und dass endlich mit dem Wassergehalte des Blutes, also mit relativer Abnahme des den Sauerstoff anziehenden Bestandtheiles die vom Drucke unabhängige Quantität ab-, die eigentlich absorbirte dagegen zunimmt. Zur absoluten Bestimmung der aufgenommenen Quantitäten ist die oben beschriebene Methode des Auskochens jedenfalls vorzuziehen.

Mit Stickstoff habe ich gleichfalls einige Versuchsreihen angestellt. Die vom Blute aufgenommenen Mengen dieses Gases sind aber so gering, dass sie nahezu von den Beobachtungsfehlern verdeckt werden. Um das Blut mit dem Gase gehörig schütteln zu können, muss das Blutgefäss etwa zur Hälfte leer bleiben. Eine geringe in diesem Raume zurückgebliebene oder wieder eindringende Luftmenge, deren Spannung nur wenige Hundertstel einer At-

mosphäre beträgt, vermag die Stickstoffaufnahme nahezu oder sogar ganz zu überdecken. Ich theile daher die Versuche nicht vollständig mit. Dieselben scheinen indess zu zeigen, dass die aufgenommenen Mengen mit dem Drucke variabel sind. So war z. B. als 394,0 Vol. geschlagenes Schweineblut mit Stickstoff, der durch Ueberleiten von Luft über glühende Kupferspähne und Waschen mit Kalilauge gewonnen worden, im Apparate in Berührung gebracht, das rückständige Gasvolumen:

Vol.	Druck	°C.	Vol. bei 0° u. 1m
757,1	0,4725	26,4	326,2
494,1	0,7204	26,5	324,5

$\Delta P = 0,2479$ $\Delta A = 1,7$

Hieraus würde sich ein Absorptionscoëfficient von etwa 0,02 ergeben, was mit den übrigen bekannten Thatsachen annähernd in Uebereinstimmung wäre.

Fassen wir zum Schlusse die Ergebnisse vorliegender Arbeit übersichtlich zusammen, so gelangen wir zu einigen, von den bisherigen Ansichten abweichenden Resultaten. Man pflegte bis jetzt anzunehmen, Sauerstoff und Stickstoff seien im Blute einfach absorbirt, während man geneigt war, für die Aufnahme und Abgabe der Kohlensäure chemische Kräfte zu Hülfe zu ziehen. Nach meinen vorliegenden Versuchen stellt sich die Sache für Sauerstoff und Kohlensäure gerade umgekehrt heraus. Die bisherige Annahme, das kohlensaure Alkali werde in den kohlensäurereichen Geweben in Bicarbonat verwandelt, das an der an Kohlensäure etwas ärmern Lungenatmosphäre wiederum zersetzt werde, verliert ihre Bedeutung. Meine Versuche machen es höchst unwahrscheinlich, dass einmal gebildetes doppelt kohlensaures Alkali unter dem in der Lunge herrschenden Drucke der Kohlensäure sich zersetzen würde, während andererseits durch dieselben die Existenz dieser Verbindung im Blute überhaupt mindestens sehr in Frage gestellt wird. Zur Erklärung des Respirationsvorganges ist es aber vollkommen unnöthig, die abwechselnde Bildung und Zersetzung chemischer Verbindungen der Kohlensäure anzu-

nehmen, da, auch ohne diese Hypothese, Aufnahme und Ausgabe der Kohlensäure sich einfach aus den Gesetzen der Gasabsorption erklären lässt. Wir haben gesehen, dass die im arteriellen Blute enthaltene Kohlensäuremenge weit geringer ist, als die bei den mitgetheilten Absorptionsversuchen aus einer Atmosphäre reiner Kohlensäure von luftfreiem Blute aufgenommene, und dass der Theil derselben, der sich durch Auskochen aus dem arteriellen Blute gewinnen lässt, nicht mehr beträgt, als nach dem partiaren Drucke der Kohlensäure in den Lungen als absorbirt angenommen werden muss. Der Kohlensäuregehalt des venösen Blutes kann aber, auch wenn man die ungünstigsten Annahmen über die Menge des durch die Lungen in gegebener Zeit passirenden Blutes und der ausgeathmeten Kohlensäure macht, nur wenige Volumprocente mehr betragen als der des arteriellen. Dieser Mehrgehalt lässt sich aber vollständig aus dem grössern partiaren Drucke der Kohlensäure in den Geweben erklären, so dass wir annehmen müssen, die chemische Verbindung, die wir beim Schütteln des Blutes mit reiner Kohlensäure entstehen sahen, komme im kreisenden Blute nicht vor. Die Aufnahme und Ausgabe der Kohlensäure erschiene demnach als ein einfacher Absorptionsvorgang. Indess sind zur vollständigen und endgültigen Entscheidung dieses Punktes noch weitere Versuche erforderlich.

Schon Marchand hat gezeigt, dass aus defibrinirtem Blute beim Durchleiten von Sauerstoff keine Kohlensäure entwickelt wird, wenn demselben vorher die freie Kohlensäure vollständig entzogen worden. Dasselbe ergiebt eine Analyse des nach den Absorptionsversuchen mit Blut und Sauerstoff No. 17 bis 30 rückständigen Gases. Dasselbe wurde, um es zur Analyse zu erhalten, durch eingegossenes Quecksilber aus dem Rohre *G* (Fig. 3) in das Gefäss *B* hinübergetrieben, dieses geschlossen, vom Rohre *G* getrennt und mit einem ganz mit Quecksilber gefüllten Rohre der Form *C*, Fig. 1. verbunden. Während nach hergestellter Verbindung das Quecksilber zum Blute floss, stieg das Gas in *C* auf und konnte zur Analyse in die Wanne gebracht werden. Seine Untersuchung auf Kohlensäure ergab:

Absorptionsrohr *A*	Volumen	Druck	°C.	Vol. b. 0° und 1m
Anfangsvolum.	75,6	0,7527	17°,4	53,5
Nach Behandlung mit KO	74,0	0,7651	18,3	53,1

Die geringe Differenz nach der Behandlung mit Kalihydrat fällt in die Beobachtungsfehler; es ist also keine Kohlensäure durch den Sauerstoff ausgeschieden worden. Wo eine solche beobachtet worden, dürfte die CO_2 entweder praeformirt im Blute vorhanden, oder Product einer fauligen Zersetzung gewesen sein. Das zu dieser Versuchreihe verwandte Blut, das noch warm mit der Luftpumpe in Verbindung gesetzt worden, zeigte, nachdem es bis 24 Stunden nach dem Auffangen mit einem kleinen Rest des Gases in Berührung geblieben, noch den Geruch des frischen Blutes und eine schön hellrothe Farbe.

Wenn schon durch diese Versuche die alte, a priori höchst unwahrscheinliche Hypothese, dass durch oxydirende Einwirkung des Sauerstoffs auf das Blut unmittelbar Kohlensäure gebildet werde, kaum noch Bedeutung behält, so ist doch noch zu ihrer Rettung der Einwand gemacht worden, es könne das faserstoffhaltige Blut sich in dieser Hinsicht wesentlich anders verhalten, als das zu diesen Versuchen benutzte defibrinirte. Meine in der ersten Abtheilung dieser Arbeit angeführten Versuche, in denen das auszukochende Blut sofort mit Weinsäure versetzt wurde, zeigen indess, dass selbst wenn der Sauerstoff im Blute in eine solche Verbindung übergeführt wird, dass er durch physikalische Mittel nicht wieder abgeschieden werden kann, dadurch weder aus defibrinirtem, noch aus normalem arteriellen Blute direct Kohlensäure gebildet wird. Wir haben demnach in Uebereinstimmung mit den übrigen Thatsachen die Kohlensäurebildung erst als eins der Endglieder einer längern Reihe von Umsetzungen anzusehen.

Ueber den Beginn dieser Reihe, über den Ort, an dem die Oxydation durch den Sauerstoff beginnt, sind die verschiedensten Ansichten geltend gemacht worden. Die Einen suchten den Beginn der Einwirkung sogleich beim Eintritte des Sauerstoffs in das Blut, die andern beim Uebergange der Blutbestandtheile in die Gewebe. Beide Ansichten sind vielfach vermittelt worden. Meine Versuche beweisen, dass allerdings schon bei der ersten Aufnahme des Sauerstoffs

ins Blut chemische Kräfte wirkend gedacht werden müssen, da die aufgenommene Menge mit dem Drucke des freien Sauerstoffgases nur in sehr geringem Grade, in bedeutendem dagegen mit der Concentration des Blutes sich ändert. Diese chemische Anziehung ist aber eine verhältnissmässig sehr schwache; wenn überhaupt durch sie eine eigentliche chemische Verbindung des Sauerstoffs mit einem der Blutbestandtheile zu Stande kommt, so ist dieselbe eine äusserst lockere. Ihre freiwillige Zersetzung wird, analog dem Kohlensäureverlust des doppelt kohlensauern Natrons, schon dadurch hervorgerufen, dass der Druck des freien Sauerstoffs über dem Blute sehr gering wird oder ganz aufhört, also z. B. durch Auspumpen mit der Luftpumpe oder Schütteln des Blutes mit andern Gasen.

Aus dieser lockern Verbindung kann der Sauerstoff in andere, festere übergehen, und dies geschieht z. B., wie die erwähnten Auskochungen ergeben, wenn Weinsäure auf das Blut einwirkt. Dieselbe Wirkung werden andere Säuren und eine ähnliche vielleicht noch manche andere chemische Verbindungen haben. Welchen Bestandtheil des Blutes diese Oxydation trifft, welches ihr Product ist, bleibt einstweilen unentschieden; das aber ist klar, dass diese Umsetzung nicht innerhalb der Gefässe in dem alkalisch reagirenden Blute, sondern nur in den Geweben stattfinden kann. In diesen aber bietet sich reichliche Gelegenheit für dieselbe dar, da bekanntlich ein Theil der Gewebe freie Säure enthält. Die in den erregten Muskeln auftretende Säure z. B. übt höchst wahrscheinlich dieselbe Wirkung, wie die Weinsäure in den angeführten Versuchen und leitet dadurch eine Reihe von Umsetzungen ein, deren der Muskel zu seiner Arbeitsleistung bedarf.

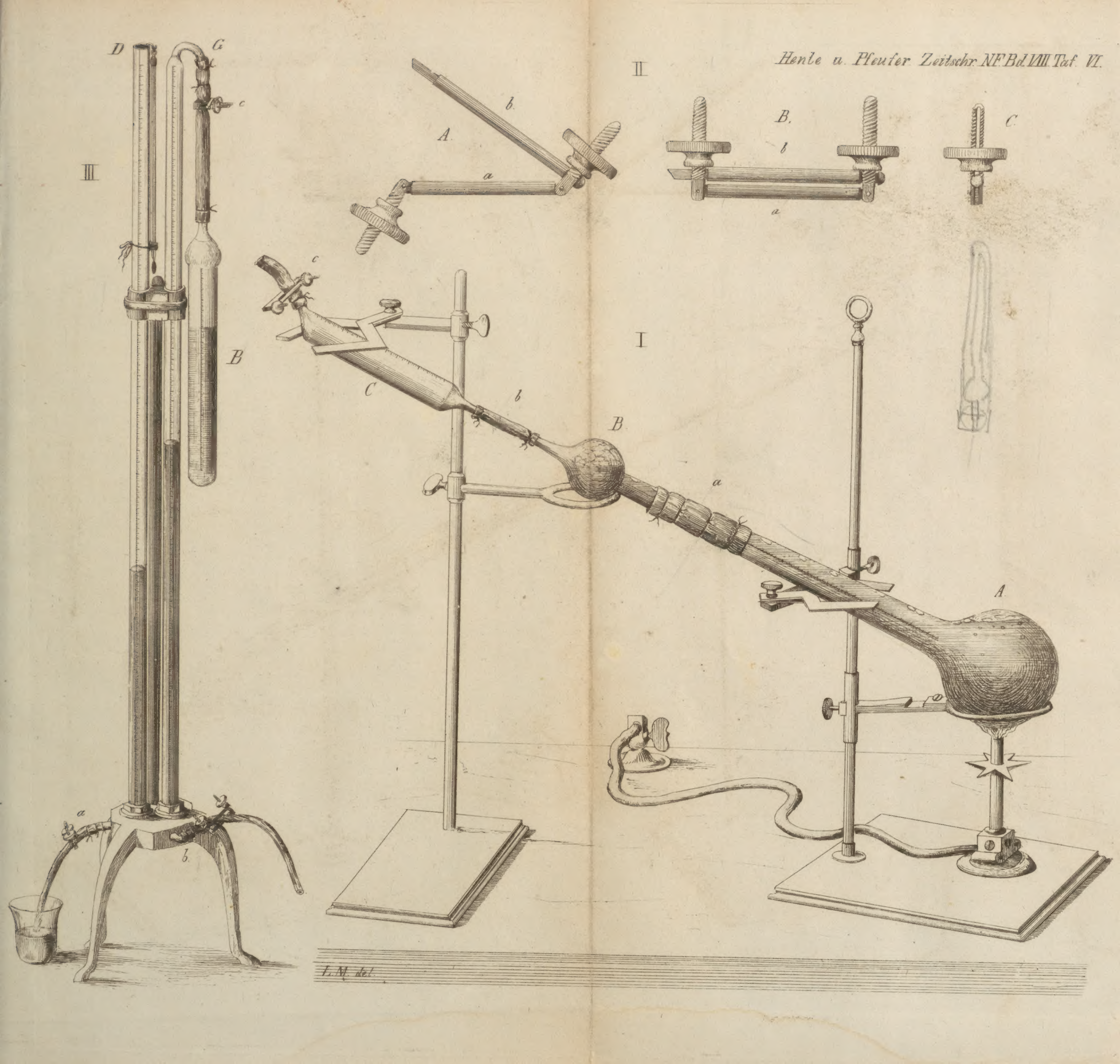
Es wäre von Interesse, denjenigen Bestandtheil des Blutes aufzusuchen, der beim Hinzutritt der Säure die Oxydation erfährt, und namentlich zu entscheiden, ob derselbe etwa identisch ist mit demjenigen, dessen Anziehung die Aufnahme des Sauerstoffs ins Blut bedingt und vom Drucke dieses Gases unabhängig macht.

Diese fast gänzliche Unabhängigkeit der Sauerstoffaufnahme vom Drucke erklärt vollständig die von Regnault und Reiset gefundene Thatsache, dass in einer weit sauerstoffreichern Atmosphäre der Respirationsvorgang kein wesentlich veränderter ist. Die ältern, das

Gegentheil ergebenden Versuche von Allen und Pepys verdienen jetzt schwerlich noch Berücksichtigung.

Ohne diese Unabhängigkeit der Sauerstoffaufnahme vom Drucke würde der Mensch, würde jede höhere Thierspecies in engbegrenzte Höhenregionen gebannt sein. Es wäre (um ein extremes Beispiel anzuführen) ohne sie dem südamerikanischen Condor nicht möglich, seinen Aufenthalt in der Höhe des Chimborasso fast plötzlich mit dem an der Meeresfläche zu vertauschen, also abwechselnd unter dem Drucke einer halben und einer ganzen Atmosphäre zu leben. Ein Organismus, dem der Luftdruck an der Meeresfläche die hinreichende Menge Sauerstoff zuführte, würde im Hochgebirge statt des regeren, zur Deckung des grösseren Wärmeverlustes nöthigen Stoffwechsels, eine Verlangsamung desselben erfahren, da mit dem gesammten Luftdrucke auch der des Sauerstoffs abnimmt, und diesem proportional eine dem Absorptionsgesetze folgende Sauerstoffaufnahme sich verringern würde. Wäre diese nicht im Gegentheil vom Drucke unabhängig, so würden die Bewohner des Flachlandes nicht ohne Beschwerden selbst nur auf den mittleren Höhen der Alpen verweilen können. Gay-Lussac u. Humboldt wären vielleicht in Lebensgefahr gerathen, als der eine das Barometer auf 12, der andre auf 14 Zoll sinken sahen.

Glücklicherweise regelt der Organismus selbst die Aufnahme des Sauerstoffs. Das Blut trägt in seiner eigenen Zusammensetzung den Regulator für die Aufnahme dieses wesentlichsten Lebensmittels. Unabhängig vom wechselnden Drucke der Atmosphäre, zieht das Blut in den Lungen den Sauerstoff in richtigem Verhältnisse an, um ihn den Organen zu bringen. Nur eine Veränderung des Blutes selbst bedingt eine erhebliche Veränderung der aufgenommenen Quantität; jede Blutentziehung wird daher zu einer Sauerstoffentziehung.


III
D
G
c
B
a
b
II
A.
b.
a
B.
b
a
C.
c
C
b
B
I
a
A.
L.M. del.

1° mouvement réflexe direct

1° mouv^t volontaire. sensibilité

2° Communication des nerfs [illegible] motrice.

3° Sens musculaire coordination